



## **Metode for konsekvensberegninger for store havarier. 0,1 pct. udslip (i overensstemmelse med SSI) fra Barsebäck**

**Nielsen, F.**

*Publication date:*  
1987

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Nielsen, F. (1987). *Metode for konsekvensberegninger for store havarier. 0,1 pct. udslip (i overensstemmelse med SSI) fra Barsebäck*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2623

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

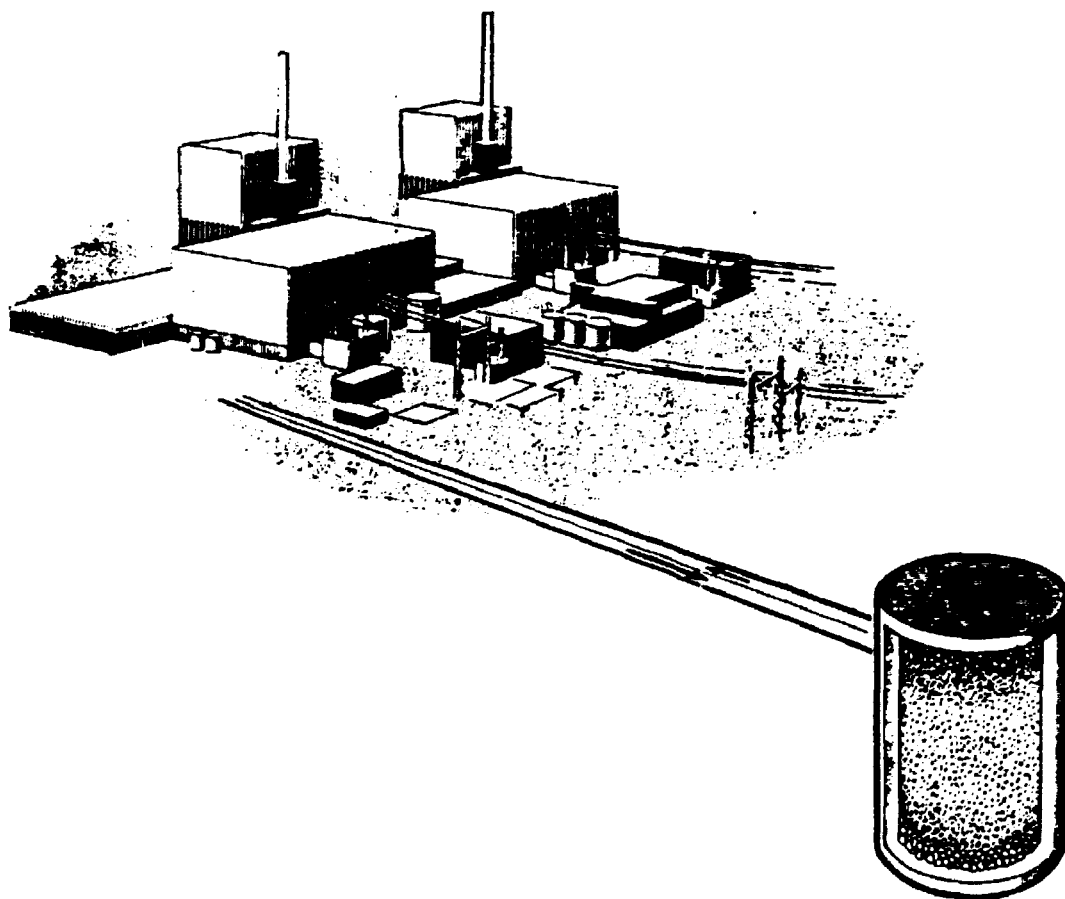
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Metode for konsekvensberegninger for store havarier

0,1% udslip (i overensstemmelse med SSI) fra Barsebäck

Flemming Nielsen



Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark  
Januar 1987

Risø-M-2623

METODE FOR KONSEKVENSBEREKNINGER FOR STORE HAVARIER  
0,1% udslip (i overensstemmelse med SSI) fra Barsebäck

Flemming Nielsen

Resumé. Denne rapport er, med undtagelse af afsnittet om kollektivdoser, udarbejdet som kontrakt rapport for Vattenfall. Afsnittet om kollektivdoser er udarbejdet som kontraktarbejde for Statens Strålskyddsinstitut (SSI).

Rapporten indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningssuheld på en af Barsebäck-reaktorerne med FILtreret TRYK Aflastning gennem FILTRA. Beregningerne er foretaget med Risøs sprednings- og dosisberegningsprogram PLUCON4.

Ved beregningerne er brugt SSI antagelser for konsekvensberegninger af 0,1% udslip. Vejrsituationen er Pasquill D med en vindhastighed på 3 m/s og et inversionslag i højden 300 m. Der regnes med et koldt udslip i 100 meters højde. Udslippet starter 12 timer efter nedlukning og varer 1 time. Udslipsmængden er 100% af ædelgasserne og 0,1% af alle andre isotoper i en reaktorkerne på 1800 MW<sub>t</sub>.

Januar 1987

Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark

## INDHOLDSFORTEGNELSE

|   | side |
|---|------|
| 1. INDLEDNING .....                                   | 5    |
| 2. METEOROLOGI .....                                  | 6    |
| 2.1. Deponeringsparametre .....                       | 6    |
| 2.2. Blandingslagets højde .....                      | 7    |
| 3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER .....              | 8    |
| 3.1. Bygningsafskærmning og filtrering .....          | 8    |
| 3.2. Vejreffekt .....                                 | 9    |
| 3.3. Beregning af organdoser .....                    | 10   |
| 3.4. Den effektive udbredelseshøjde .....             | 14   |
| 4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSPORLØB .....               | 15   |
| 5. KONSEKVENSER EFTER 0,1% UDSLIP FRA BARSEBÄCK ..... | 18   |
| 5.1. Individdoser .....                               | 18   |
| 5.2. Kollektivdoser .....                             | 32   |
| 6. REFERENCER .....                                   | 38   |
| Bilag A: Dosisomregningsfaktorer .....                | 40   |

## 1. INDLEDNING

Denne rapport indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningssuheld på en af Barsebäckreaktorerne.

Ved beregningerne er brugt SSI's antagelser ved et 0,1% udslip igennem filteret på Barsebäckværket. Beregningerne er foretaget med Risø's sprednings- og dosisprogram PLUCON4 (Thykier-Nielsen 1980).

I oktober 1981 besluttede den svenske regering at kræve installation af filtreret trykaflastning for Barsebäckværket som betingelse for fortsat drift efter den 1. september 1986. Regeringen krævede, at filteret skulle udføres således at mindst 99,9% af reaktorkernens indhold af radioaktive stoffer, med undtagelse af ædelgasserne, skulle tilbageholdes i reaktorindeslutningen og filteret ved et stort havari. Det er dette regeringskrav, der er grundlaget for beregningerne.

I kapitel 2 er deponeringsparametre og blandingslagets højde beskrevet.

I kapitel 3 er redegjort for de øvrige beregningsforudsætninger. Dvs., bygningsafskærmning, vejreflekt, dosisomregningsfaktorer og effektiv udbredelseshøjde.

I kapitel 4 er aktivitetsindholdet, udslipsmængderne, tidsforløbet af udslippet, udslippets varmeindhold og udslipshøjden gennemgået.

I kapitel 5 kommer så alle beregningsresultaterne. Der er regnet indviddoser med indendørs ophold i 24 timer efter et udslip ved pasquill D med en vindhastighed på 3 m/s og ved normal færden i et år efter udslippet. Der er desuden regnet kollektivdoser i et antal udslipsretninger fra Barsebäckværket for 24 timers indendørs ophold.

## 2. METEOROLOGI

### 2.1. Deponeringsparametre

Materialer i atmosfæren, partikulære eller luftformige, kan afsættes på overfladen ved forskellige processer. Hele dette kompleks af processer kaldes bekvemt for deponering. Deponering afhænger af tre typer parametre. For det første parametre, der beskriver det materiale, der afsættes. For det andet meteorologiske parametre beskrivende temperatur, vindhastighed, fugtighedsprocent m.m. For det tredje parametre, der beskriver overfladen, f.eks. ruhedslængder, vegetationstype og -densitet m.m.

Når man skal diskutere deponeringsparametre, er det hensigtsmæssigt at opdele deponeringsprocesserne i forskellige grupper efter

- materialetyper (luftarter, partikler)
- meteorologiske forhold (tør- og våddeponering)
- overfladetyper (ru og glatte overflader).

Alle overflader betragtes som ru overflader (bevoksede overflader, græsmarker, kornmarker etc.), idet der her fås de største deponeringsparametre.

For tørdeponering af luftarter i forbindelse med et hypotetisk reaktoruheld er det kun nødvendigt at beskæftige sig med elementær jod og luftformige forbindelser indholdende jod, f.eks. methyljodid. På baggrund af mange eksperimentelle bestemmelser af tørdeponeringsparametre for jod kan det konkluderes, at en typisk værdi for jod kan sættes til 0,7 cm/s, og at det vil være meget usandsynligt, at værdien vil overstige 1 cm/s. For methyljodid er værdien ca. 100 gange mindre end for jod (Heinemann 1980 og Sehmel 1980).

Tørdeponeringsparametre for det øvrige udslip fås fra Roed 1981. De ved beregningerne brugte tørdeponeringsparametre ses på tabel 2.1.

| Stabilitet | Vindhastighed | Tørdeponeringsparameter |               |
|------------|---------------|-------------------------|---------------|
|            |               | Jod                     | Øvrigt udslip |
| D          | 3 m/s         | 1 cm/s                  | 0,2 cm/s      |

Tabel 2.1. De valgte tørdeponeringsparametre som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed. (Øvrigt udslip omfatter ikke ædelgasser, der ikke deponeres).

## 2.2. Blandingslagets højde

For stabilitet D er regnet med et blandingslag i højden 300 m. Dette blandingslag kan ikke gennemtrænges af udslippet, hvis udbredelse dermed begrænses til området mellem blandingslaget og jordoverfladen.

### 3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

#### 3.1. Bygningsafskærmning og filtrering

##### Afskærmningsfaktorer under skypassage (indendørs)

-----

I beregninger af dosis fra deponeret aktivitet på overflader anvendes dosis i én meters afstand over en plan flade af uendelig udstrækning og med jævnt fordelt overfladeaktivitet som referencedosis. Den reelle dosis vil altid være mindre end referencedosis på grund af forskellige reduktionsfaktorer, såsom afskærmning fra omkringliggende bygninger og de bygninger eller transportmidler, man opholder sig i.

Den afskærmende virkning af en bygning kan udtrykkes ved en afskærmningsfaktor, som er forholdet mellem dosis, der modtages henholdsvis inde i og udenfor bygningen.

For indendørs ophold fås følgende afskærmningsfaktorer fordelt på hustyper:

|                                     |                     | Indendørs         |                    |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
|                                     |                     | Skypassage        | Deposition         |
| 10%                                 | flerfamiliehuse     | 0,3 <sup>b)</sup> | 0,03 <sup>a)</sup> |
| 20%                                 | parcelhuse, mursten | 0,6 <sup>c)</sup> | 0,1 <sup>a)</sup>  |
| 70%                                 | træhuse             | 0,9 <sup>b)</sup> | 0,3 <sup>b)</sup>  |
| Gennemsnitlige afskærmningsfaktorer |                     | 0,78              | 0,233              |

Tabel 3.1. Afskærmningsfaktorer ved indendørs ophold. Der er brugt følgende referencer a) Hedemann, 1984 tabel 5 og 6 traditionelt, b) Statens Strålskyddsinstitut, 1979, Vol. 5, tabel 4.3, og c) WASH-1400.



## Filterfaktor

-----

Huse virker som filter mod den forurenede luft udendørs, idet partikler hænger fast i dør- og vindueskarme i stedet for at trænge med luftskiftet ind i huset. Den herved opnåede reduktion i inhalationsdoserne kaldes filterfaktoren.

Filterfaktoren for indendørs ophold sættes til 0,33, som nævnt i Miljøstyrelsen 1984.

## Opholdstider

-----

For at kunne tage hensyn til at personer opholder sig såvel uden-  
dørs som indendørs efter skypassage er det nødvendigt at anvende  
en tidsmidlet afskærmningsfaktor for deponeret aktivitet.

I mangel af svenske tal anvendes amerikanske (Aldrich, 1978),  
her opgives følgende midlede opholdstider:

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Udendørs:                | 6% af tiden  |
| Transport:               | 5% af tiden  |
| Bolig, arbejde og skole: | 89% af tiden |

Ved transport indregnes en faktor 0,5 som følge af transport-  
midlets egen afskærmende virkning (Lauridsen 1981).

## Afskærmningsfaktor efter skypassage (normal færden)

-----

Herefter kan den tidsmidlede afskærmningsfaktor for deponeret  
aktivitet beregnes:

|                          |                    |           |
|--------------------------|--------------------|-----------|
| Udendørs:                | $0,06 \cdot 1$     | $= 0,06$  |
| Transport:               | $0,05 \cdot 0,5$   | $= 0,025$ |
| Bolig, arbejde og skole: | $0,89 \cdot 0,233$ | $= 0,207$ |
| Ialt                     |                    | 0,292     |

## 3.2. Vejreffekt

Aktivitet, der er deponeret udendørs, vil som følge af vejrlig

og specielt regn forsvinde hurtigere, end den fysiske halveringstid betinger. Der er tale om en korttidseffekt som følge af nedbør, der falder samtidig med eller i de første par dage efter deponeringen, samt om en langtidseffekt.

H.J. Gale angiver en halveringstid på ca. 227 dage for korttidseffekten og ca. 100 år for langtidseffekten (Gale, 1963).

Herefter bliver reduktionsfaktoren, hvor  $t$  angives i år:

$$0,63 \cdot \exp(-1,13t) + 0,37 \cdot \exp(-0,0075t),$$

### 3.3. Beregning af organdoser

Dosis til de enkelte organer beregnes som summen af de 3 dosiskomponenter gammadosis fra skypassage og deponeret aktivitet og indåndingsdosen.

#### 3.3.1. Knoglemarv

-----  
Det antages almindeligvis (WASH-1400), at skade på knoglemarven er den vigtigste årsag til tidlig død på grund af store strålingsdoser til hele kroppen. Det vil sige, at strålingsskade af lunger og mavetarmkanal sandsynligvis ikke vil være dødbringende, medmindre knoglemarven også beskadiges.

For knoglemarvsdoser er tærskelværdien, hvorunder der ikke kan ske tidlige dødsfald ved minimal behandling 1 Sv. Den akutte knoglemarvsdosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og indåndingsdosen integreret til den 30. dag. Størstedelen af dosis til knoglemarven modtages indenfor den første måned.

### 3.3.2. Lunger

-----  
Radioaktive stoffer, som tilhører aktiniderne (som inkorporeres i lymfeknuderne), lanthangruppen og i mindre grad rutheniumgruppen giver det største bidrag til lungedosis. Mellem 50% og 80% af den inhalerede dosis vil være absorberet indenfor et år. Dosis til lungerne beregnes derfor som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden og den interne dosis til lungerne fra inhalation integreret over et år.

For lungedoser er der i WASH-1400 (fig. VI 9-3) vist sammenhængen mellem sandsynligheden for dødsfald indenfor et år og den modtagne lungedosis. En lungedosis på 50 Sv giver en dødsrisiko på 2%, og en lungedosis på 40 Sv giver en dødsrisiko på 1%.

Da risikoen for akut skade afhænger af hastigheden, hvormed lungedosis akkumuleres, vil denne beregningsmetode overvurdere dosis.

### 3.3.3. Skjoldbruskkirtel

-----  
I-131 vil bidrage med ca. 2/3 af dosis til skjoldbruskkirtelen. Da I-131 har en halveringstid på 8 dage, og de andre radioaktive jodisotoper, der kommer i betragtning, har en halveringstid på mindre end en dag, vil størstedelen af inhalationsdosis til skjoldbruskkirtelen være absorberet i løbet af en måned. Ifølge WASH-1400 er tærskelværdien for akutte skader som følge af skjoldbruskkirteldoser 250 Sv.

Dosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og den interne dosis til skjoldbruskkirtelen fra indåndet aktivitet integreret over 1 uge.

Dosis fra inhalation er beregnet for børn, der er den kritiske gruppe, ved at gange dosisfaktorerne for voksne med 2 (Cedervall, 1985).

### 3.3.4. Hele kroppen

-----

For at opgøre de mulige langtidskonsekvenser af bestråling af hele kroppen beregnes det såkaldte committede effektive dosisækvivalent. Dette beregnes som summen af gammadosis fra sky-passage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation. Det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation ( $H_{50}$ ) er defineret som:

$$H_{50} \equiv \sum_i W_{T,i} \cdot O_{50,i}$$

hvor

$O_{50,i}$  = 50 års committed dosisækvivalent for organ i.

$W_{T,i}$  = Vægtfaktor for organ i.

Summationen foretages for gonader, bryst, knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel, skelet og 5 andre organer.

Data for,  $O_{50}$  og  $W_T$  er taget fra ICRP 1979.

### 3.3.5. Dosisomregningsfaktorer

-----

I bilag A på tabel A1 er vist de i beregningerne brugte omregningsfaktorer fra inhalation til henholdsvis knoglemarvs-, lunge-, skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis.

For de med V mærkede isotoper har Vattenfall (Cedervall, 1985) opgivet nye tal, som er indsat i programmet.

For de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, tabel D-2 til beregning af knoglemarvs-, lunge-, og skjoldbruskkirteldosis. Data til faktorerne til beregning af helkropsdosis er for de med W mærkede isotoper fra Hedemann, 1980, ICRP, 1979 og NRPB 1978.

PLUCON4 indeholder ingen tilsvarende dosisomregningsfaktorer til beregning af gammadoser fra skypassage og deponeret aktivitet. I stedet indeholder programmet en tabel med gammaudbytter opdelt på 8 energigrupper for hver enkelt isotop. Ved hjælp af disse udbyttetal kan gammadoser i luft beregnes. For at få doser i organer er det nødvendigt at tage hensyn til selvafskærmningen i kroppen. Her er brugt de selvafskærningsfaktorer, som er vist i bilag A på tabel A2.

Ved at beregne koncentration af deponeret aktivitet og dosis for hver enkelt isotop kan dosisomregningsfaktorerne i bilag A på tabel A3 for deponeret aktivitet beregnes.

Gammadosis fra skypassage beregnes ved at integrere dosisbidragene fra hele den radioaktive sky. Dosis afhænger således ikke kun af luftkoncentrationen det pågældende sted. Der eksisterer derfor ikke simple omregningsfaktorer mellem luftkoncentrationen et givet sted og gammadosis fra skypassage.

### 3.4. Den effektive udbredelseshøjde

Den effektive udbredelseshøjde beregnes som summen af skorstenshøjden og varmeløftet. Der ses bort fra varmeafgivelsen ved radioaktive henfald og fra fortætningsvarmen fra den ledsagende damp.

Da energifriførelses hastigheden ved det betragtede udslip antages at være 0 MW, bliver den effektive udbredelseshøjde lig med udslipshøjden, dvs. 100 m.

Denne udslipshøjde er valgt i overensstemmelse med SSI's antagelser. Men SSI's antagelser gælder for en reaktorstørrelse på 3150 MW<sub>t</sub> svarende til Forsmark reaktor nr. 3 og Oskarshamn reaktor nr. 3.

Den rigtige udslipshøjde for Barsebäck skulle have været 50 m, idet udslippet sker fra FILTRA's skorsten.

Da udslipshøjden er for stor bliver doserne de første 3 km lidt for små, herefter har udslipshøjden ingen betydning.

#### 4. UDSLIPSSTØRRELSE OG TIDSFØRLØB

Aktiviteten ved nedlukning af de 6 Kr isotoper, de 7 Xe isotoper, Tc 99m, Te 131 og Cs 138 er taget fra Ringhals 1. For at finde inventaret i en af Barsebäck-reaktorerne er aktiviteten af disse 16 isotoper ganget med forholdet mellem den termiske effekt af Ringhals 1 og Barsebäck-reaktorerne: 1800/2270.

For de øvrige 39 isotoper, der ses i tabel 4.1 er aktiviteten ved nedlukning opgivet af SSI i TBq/MW<sub>t</sub>. Inventaret fås her ved at gange med den termiske effekt på 1800 MW.

Udslippet starter 12 timer efter nedlukning og varer 1 time.

Der regnes med 100% udslip af ædelgasser og 0,1% udslip af alle andre isotoper. Disse udslipsprocenter er i overensstemmelse med regeringens mindstekrav.

I praksis er filteret bygget, således at mindst 99,9% af reaktorkernens jodindhold tilbageholdes. Dette medfører samtidig at mindst 99,99% af Ruthenium, Rhodium, Technetium og Lanthan tilbageholdes. Udslippet af disse stoffer er således regnet mindst 10 gange for højt.

Ved hjælp af programmet HMP, der både kan beregne fissionsproduktindhold, som BEGAFIP og transuranindhold, beregnes inventaret i kernen ved start- og sluttidspunktet af perioden. Herefter beregnes udslippet ved hjælp af formlen:

$$p = (M_1 - M_2) / \ln \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

hvor

p er udslipsprocenten

M<sub>1</sub> er aktiviteten ved starten af udslipsperioden

M<sub>2</sub> er aktiviteten ved slutningen af udslipsperioden

Det således beregnede udslip ses i tabel 4.1. På figuren er desuden vist aktiviteten ved nedlukning og udslip i procent af nedlukningsaktiviteten. På grund af henfald før og under udslippet bliver disse udslipsprocenter mindre end de ovenfor nævnte procenter. Eneste undtagelse er Xe-135, hvor det samlede udslip udgør 144% af aktiviteten på nedlukningstidspunktet, idet inventaret af Xe-135 er stigende de første timer efter nedlukning på grund af henfald af I-135.

Ud over de på tabel 4.1 viste isotoper indgår Rb88, Rb89, Nb97, Rh106, Pr144, Pm147 og Pu239 i beregningerne, idet der regnes med følgende henfald til radioaktive datterprodukter:

|        |   |        |        |   |        |
|--------|---|--------|--------|---|--------|
| Kr85m  | → | Kr85   | Tel31m | → | Tel31  |
| Kr88   | → | Rb88   | Tel31  | → | I131   |
| Kr89   | → | Rb89   | Tel32  | → | I132   |
| Sr90   | → | Y90    | I131   | → | Xel31m |
| Sr91   | → | Y91    | I133   | → | Xel33  |
| Zr95   | → | Nb95   | I135   | → | Xel35  |
| Zr97   | → | Nb97   | Xel37  | → | Cs137  |
| Mo99   | → | Tc99m  | Xel38  | → | Cs138  |
| Ru105  | → | Rh105  | Ba140  | → | La140  |
| Ru106  | → | Rh106  | Ce143  | → | Pr143  |
| Sb127  | → | Tel27  | Ce144  | → | Pr144  |
| Sb129  | → | Tel29m | Nd147  | → | Pm147  |
| Tel29m | → | Tel29  | Np239  | → | Pu239  |

Alle andre henfald antages at ske til isotoper, der ikke har interesse for dosisberegningerne.

Energiindholdet i udslippet sættes til 0 MWh/h (udslippet er koldt efter 12 timers ophold i FILTRA).



| Isotop | Aktivitet ved nedlukn. TBq | Aktivitet efter 12 tim. TBq | Aktivitet efter 13 tim. TBq | Udslip TBq | Udslip i % af nedlukningsaktivitet |
|--------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------------------------------|
| Co 58  | 1,62E4                     | 1,61E4                      | 1,61E4                      | 1,61E1     | 0,10                               |
| Co 60  | 5,40E3                     | 5,40E3                      | 5,40E3                      | 5,40       | 0,10                               |
| Kr 83m | 2,70E5                     | 2,39E4                      | 1,79E4                      | 2,08E4     | 7,70                               |
| Kr 85m | 6,42E5                     | 9,95E4                      | 8,52E4                      | 9,21E4     | 14,35                              |
| Kr 85  | 2,14E4                     | 2,14E4                      | 2,14E4                      | 2,14E4     | 100,01                             |
| Kr 87  | 1,03E6                     | 1,39E3                      | 8,05E2                      | 1,07E3     | 0,10                               |
| Kr 88  | 1,43E6                     | 7,27E4                      | 5,67E4                      | 6,44E4     | 4,51                               |
| Kr 89  | 1,74E6                     | 1,21E-62                    | 2,54E-68                    | 2,54E-68   | 0,00                               |
| Sr 89  | 1,98E6                     | 1,97E6                      | 1,97E6                      | 1,97E3     | 0,10                               |
| Sr 90  | 8,28E4                     | 8,28E4                      | 8,28E4                      | 8,28E1     | 0,10                               |
| Sr 91  | 2,34E6                     | 9,72E5                      | 9,03E5                      | 9,37E2     | 0,04                               |
| Y 90   | 8,28E4                     | 8,25E4                      | 8,25E4                      | 8,25E1     | 0,10                               |
| Y 91   | 2,52E6                     | 2,51E6                      | 2,51E6                      | 2,51E3     | 0,10                               |
| Zr 95  | 3,06E6                     | 3,04E6                      | 3,04E6                      | 3,04E3     | 0,10                               |
| Zr 97  | 3,06E6                     | 1,87E6                      | 1,79E6                      | 1,83E3     | 0,06                               |
| Nb 95  | 3,06E6                     | 3,06E6                      | 3,06E6                      | 3,06E3     | 0,10                               |
| Mo 99  | 3,24E6                     | 2,86E6                      | 2,83E6                      | 2,84E3     | 0,09                               |
| Tc 99m | 3,33E6                     | 3,13E6                      | 3,10E6                      | 3,12E3     | 0,09                               |
| Ru103  | 2,34E6                     | 2,32E6                      | 2,32E6                      | 2,32E3     | 0,10                               |
| Ru105  | 1,53E6                     | 2,33E5                      | 1,99E5                      | 2,16E2     | 0,01                               |
| Ru106  | 5,40E5                     | 5,40E5                      | 5,39E5                      | 5,39E2     | 0,10                               |
| Rh105  | 1,06E6                     | 9,36E5                      | 9,20E5                      | 9,28E2     | 0,09                               |
| Sb127  | 1,30E5                     | 1,21E5                      | 1,20E5                      | 1,20E2     | 0,09                               |
| Sb129  | 7,02E5                     | 1,02E5                      | 8,72E4                      | 9,46E1     | 0,01                               |
| Te127m | 2,34E4                     | 2,34E4                      | 2,34E4                      | 2,34E1     | 0,10                               |
| Te127  | 1,26E5                     | 1,23E5                      | 1,23E5                      | 1,23E2     | 0,10                               |
| Te129m | 1,13E5                     | 1,13E5                      | 1,13E5                      | 1,13E2     | 0,10                               |
| Te129  | 6,66E5                     | 1,79E5                      | 1,69E5                      | 1,74E2     | 0,03                               |
| Te131m | 2,70E5                     | 2,05E5                      | 2,01E5                      | 2,03E2     | 0,08                               |
| Te131  | 1,74E6                     | 3,72E4                      | 3,64E4                      | 3,68E1     | 0,00                               |
| Te132  | 2,52E6                     | 2,26E6                      | 2,24E6                      | 2,25E3     | 0,09                               |
| I 131  | 1,76E6                     | 1,70E6                      | 1,70E6                      | 1,70E3     | 0,10                               |
| I 132  | 2,52E6                     | 2,29E6                      | 2,26E6                      | 2,28E3     | 0,09                               |
| I 133  | 3,60E6                     | 2,48E6                      | 2,39E6                      | 2,43E3     | 0,07                               |
| I 134  | 3,96E6                     | 8,98E2                      | 4,08E2                      | 6,21E-1    | 0,00                               |
| I 135  | 3,24E6                     | 9,14E5                      | 8,21E5                      | 8,67E2     | 0,03                               |
| Xe131m | 1,19E4                     | 1,19E4                      | 1,19E4                      | 1,19E4     | 99,99                              |
| Xe133m | 2,62E5                     | 2,52E5                      | 2,51E5                      | 2,52E5     | 96,20                              |
| Xe133  | 4,12E6                     | 4,08E6                      | 4,07E6                      | 4,08E6     | 98,85                              |
| Xe135m | 1,11E6                     | 2,38E5                      | 2,14E5                      | 2,26E5     | 20,36                              |
| Xe135  | 9,52E5                     | 1,40E6                      | 1,34E6                      | 1,37E6     | 143,65                             |
| Xe137  | 3,57E6                     | 6,51E-51                    | 1,22E-55                    | 5,98E-52   | 0,00                               |
| Xe138  | 3,41E6                     | 1,45E-9                     | 7,59E-11                    | 4,65E-10   | 0,00                               |
| Cs134  | 1,60E5                     | 1,60E5                      | 1,60E5                      | 1,60E2     | 0,10                               |
| Cs136  | 6,12E4                     | 5,96E4                      | 5,95E4                      | 5,95E1     | 0,10                               |
| Cs137  | 1,03E5                     | 1,03E5                      | 1,03E5                      | 1,03E2     | 0,10                               |
| Cs138  | 3,96E6                     | 7,15E-1                     | 1,96E-1                     | 4,01E-4    | 0,00                               |
| Ba140  | 3,24E6                     | 3,15E6                      | 3,15E6                      | 3,15E3     | 0,10                               |
| La140  | 3,24E6                     | 3,22E6                      | 3,22E6                      | 3,22E3     | 0,10                               |
| Ce141  | 3,06E6                     | 3,04E6                      | 3,04E6                      | 3,04E3     | 0,10                               |
| Ce143  | 2,70E6                     | 2,11E6                      | 2,06E6                      | 2,09E3     | 0,08                               |
| Ce144  | 1,80E6                     | 1,80E6                      | 1,80E6                      | 1,80E3     | 0,10                               |
| Pr143  | 2,70E6                     | 2,69E6                      | 2,69E6                      | 2,69E3     | 0,10                               |
| Nd147  | 1,30E6                     | 1,26E6                      | 1,25E6                      | 1,25E3     | 0,10                               |
| Np239  | 3,60E6                     | 3,13E6                      | 3,09E6                      | 3,11E3     | 0,09                               |

Tabel 4.1. Aktivitet ved nedlukning, 12 timer efter nedlukning og 13 timer efter nedlukning. Udslippet og udslippet i procent af nedlukningsaktivitet.

## 5. KONSEKVENSER EFTER 0,1% UDSLIP FRA BARSEBÄCK

I dette kapitel er redegjort for konsekvenserne i form af individdoser i omgivelserne ud til 50 km afstand såvel som for kollektivdoser ud til 62 km.

Det skal bemærkes, som det er diskuteret i Thykier-Nielsen 1980, at modellen beregner doser med rimelig nøjagtighed ud til 20 - 30 km fra kilden, dvs. indenfor en faktor 2 - 3, men at man på længere afstande får en overvurdering af doserne, som på 50 km kan være op til en faktor 10 over den egentlige værdi.

### 5.1. Individdoser

#### 5.1.1. Indendørs ophold i 24 timer

-----

På figurerne, der viser individdosis under skyens centerlinie, dvs. maksimaldosis i den pågældende afstand, er det valgt at bruge en logaritmisk inddeling af abcissen, der viser afstanden fra udslipspunktet. Herved lægges vægt på at illustrere forholdene nærmest værket, hvor doserne er størst, og som derfor har størst interesse.

De 24 timer er regnet fra nedlukningstidspunktet, dvs. doserne er beregnet 12 timer efter udsippet starter.

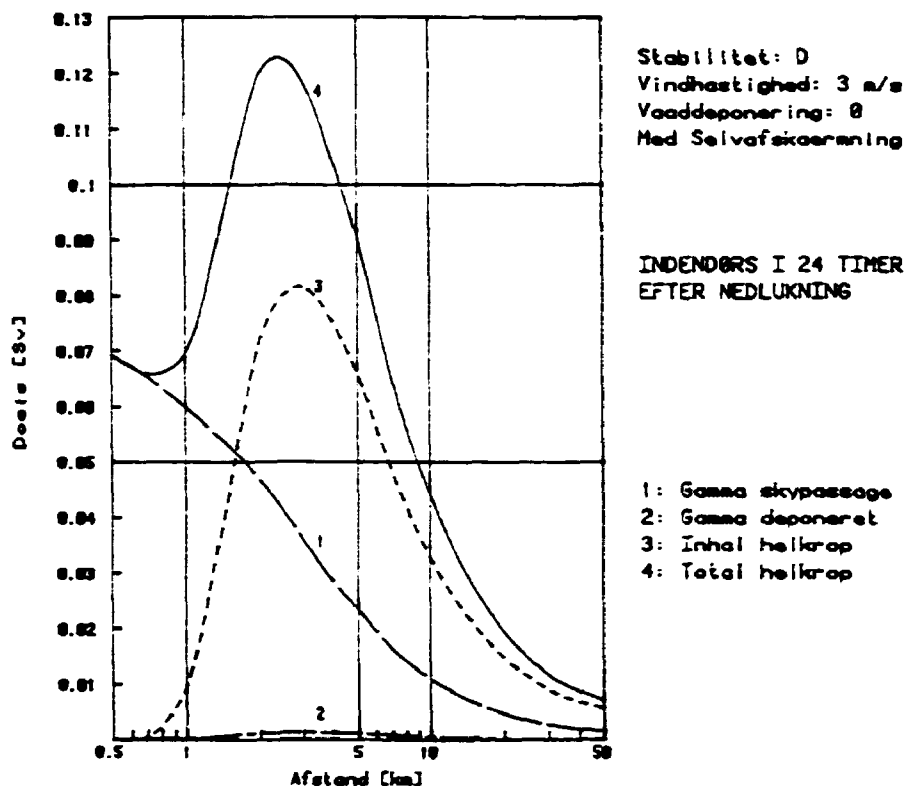


Fig. 5.1. Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter.

På figur 5.1. er vist gammadosis fra skypassagen, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsbidraget til helkropsdosis, samt summen af de tre komponenter.

På grund af udslipshøjden på 100 m når skyens indhold af radioaktivitet først jordoverfladen i en afstand af ca. 700 m fra værket. Der er altså ingen aktivitet at indånde, og der sker kun en meget ringe deponering. Disse to dosiskomponenter vokser først op til maksimum på en afstand af ca. 3 km.

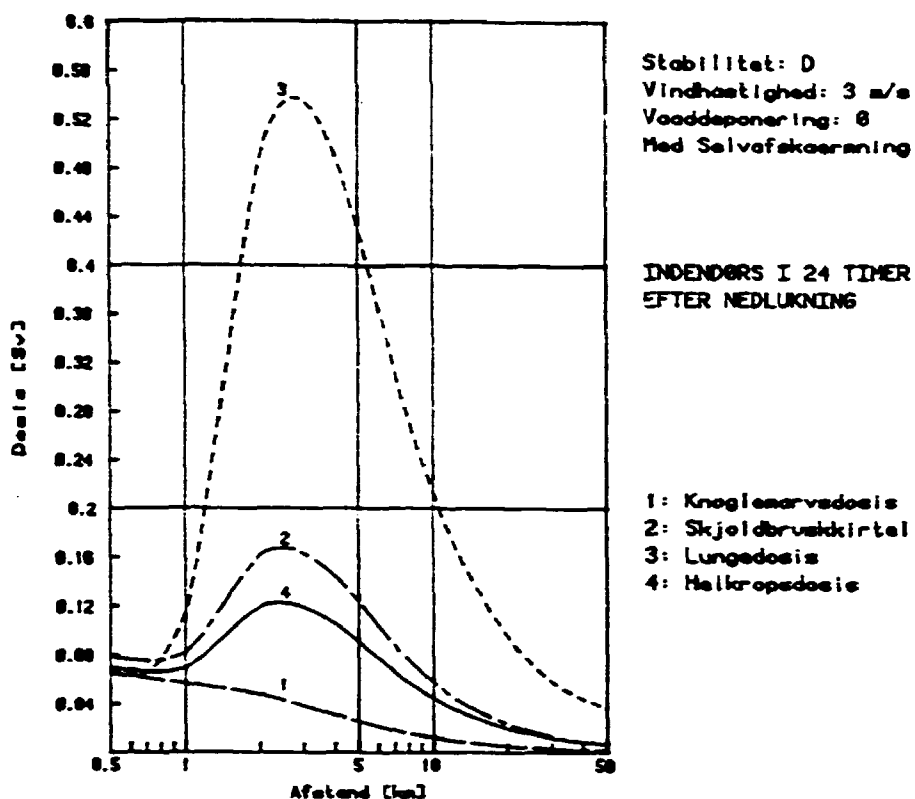


Fig. 5.2. Organdoser ved 24 timers indendørs ophold.

På figur 5.2. er vist organdoserne til knoglemarv, skjoldbruskkirtel, lunger samt helkropsdosis, der er identisk med sumkurven på fig. 5.1. Der skal gøres opmærksom på de forskellige ordinatværdier på de forskellige figurer.

| Doser<br>i<br>Sv | Gammadosis fra  |                        | Inhala-<br>tion | Total<br>dosis i<br>maksimal-<br>punktet | Tærskel-<br>værdi |
|------------------|-----------------|------------------------|-----------------|--|-------------------|
|                  | skypas-<br>sage | deponeret<br>aktivitet |                 |  |                   |
| Lunge            | 0,034           | 0,001                  | 0,500           | 0,535                                    | 40                |
| Knoglemarv       | 0,033           | 0,001                  | 0,003           | 0,037                                    | 1                 |
| Skjoldbruskk.    | 0,040           | 0,002                  | 0,121           | 0,163                                    | 250               |
| Helkrop          | 0,036           | 0,001                  | 0,082           | 0,119                                    | -                 |

Tabel 5.1. Organdoser 3 km fra værket ved Pasquill D, vindhastighed 3 m/s.

I tabel 5.1. er vist maksimalværdier i afstanden 3 km fra værket, altså den afstand hvori der for denne vejsituation er fundet de største dosisværdier. Der er vist dosiskomponenternes fordeling på de forskellige organer, og der er i sidste kolonne vist tærskelværdierne for akutte virkninger, der er nærmere beskrevet i kapitel 3.

Som det ses på fig. 5.2. kommer knoglemarvsdoserne højst op på 0,06 Sv ved værkets hegn. Der vil derfor ikke være risiko for tidlige dødsfald eller akutte sygdomstilfælde.

Af tabel 5.1. ses, at skjoldbruskkirteldosis i afstanden 3 km bliver godt 0,16 Sv, hvilket ikke vil medføre akutte skader.

Det ses yderligere, at lungedosis højst bliver 0,54 Sv, hvilket ikke giver risiko for lungesygdomme endsige tidlige dødsfald.

På fig. 5.3A og 5.3B er vist helkropsdoser for 24 timers indendørs ophold opdelt på 4 isotopgrupper: Jod, ædelgas, cæsium og andre isotoper. På fig. 5.3A er vist den absolutte fordeling, hvor sum-kurven er den samme som kurve 4 på fig. 5.1. og 5.2. på fig. 5.3B er sumkurven sat til 100%, og den relative dosisfordeling af de 4 isotopgrupper er vist.

Da ædelgas næsten udelukkende giver doser fra skypassagen, falder dosisandelen fra ædelgas fra ca. 96% til ca. 20%, når skyen når jordoverfladen. Samtidig øges dosisandelen for de andre isotoper, idet det her primært er inhalation og gamma-dosis fra deponeret aktivitet, der har betydning.

På fig. 5.4A og 5.4B er vist koncentrationen af deponeret aktivitet opdelt i 3 isotopgrupper: Jod, cæsium og andre isotoper. Ædelgasserne bidrager ikke til koncentrationen af deponeret aktivitet. Cæsiumisotoperne bidrager ikke væsentligt til den deponerede aktivitet 24 timer efter nedlukning, men efterhånden som de mere kortlivede isotoper henfalder, vil cæsiums andel af koncentrationen stige. Dosisfordelingen er ca. 38% til jod og ca. 62% til andre isotoper.

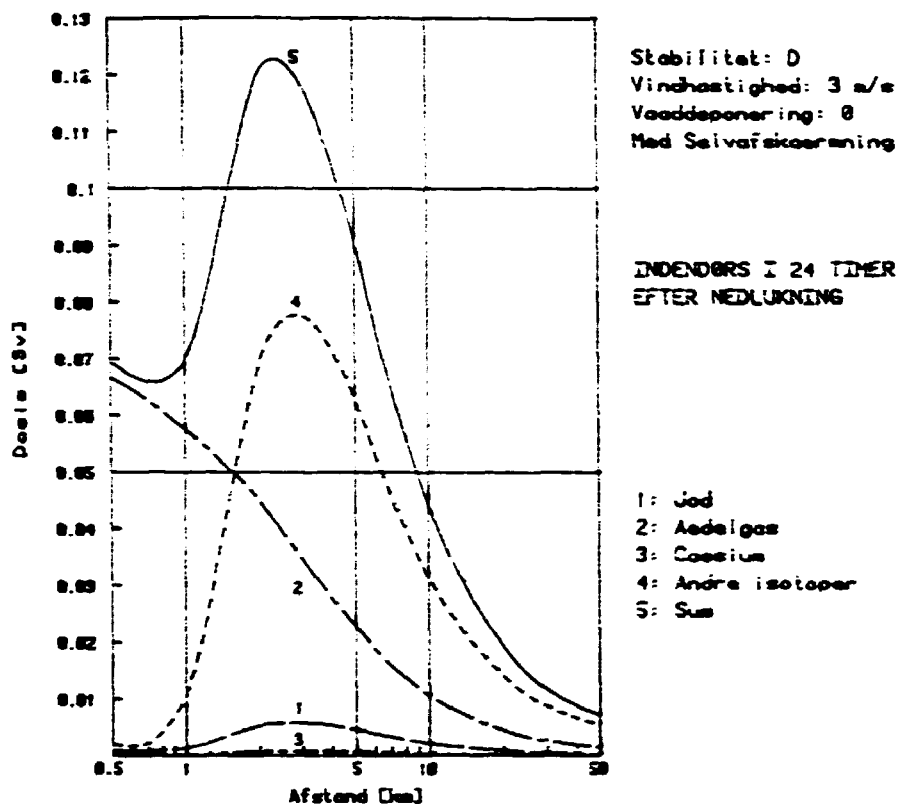


Fig. 5.3A. Total helkropsdosis opdelt i isotopgrupper.

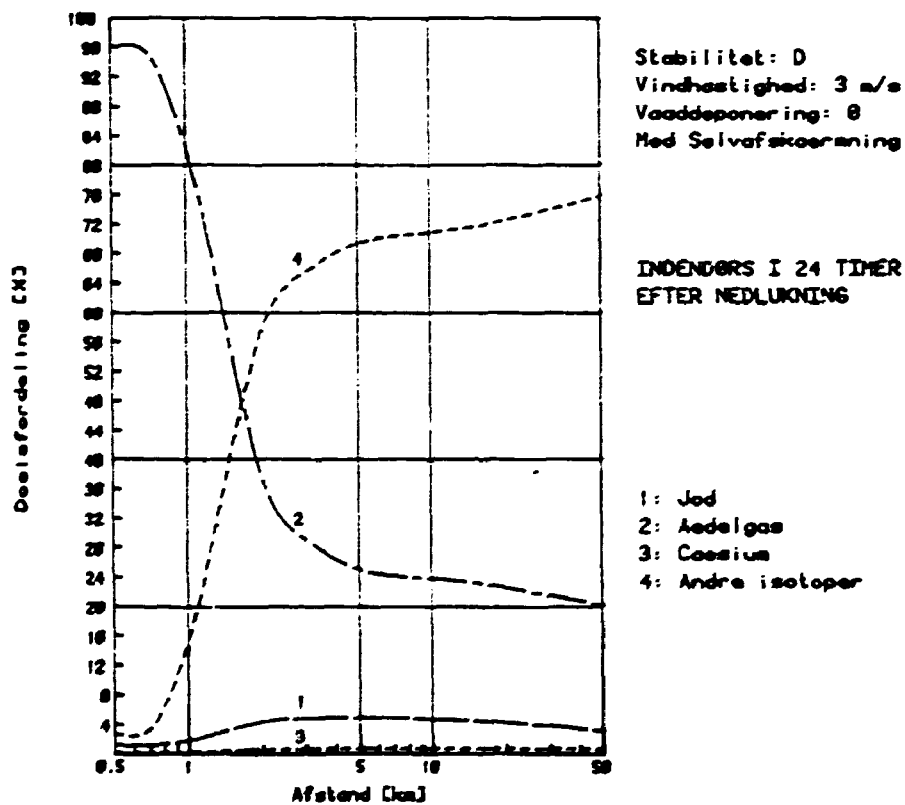
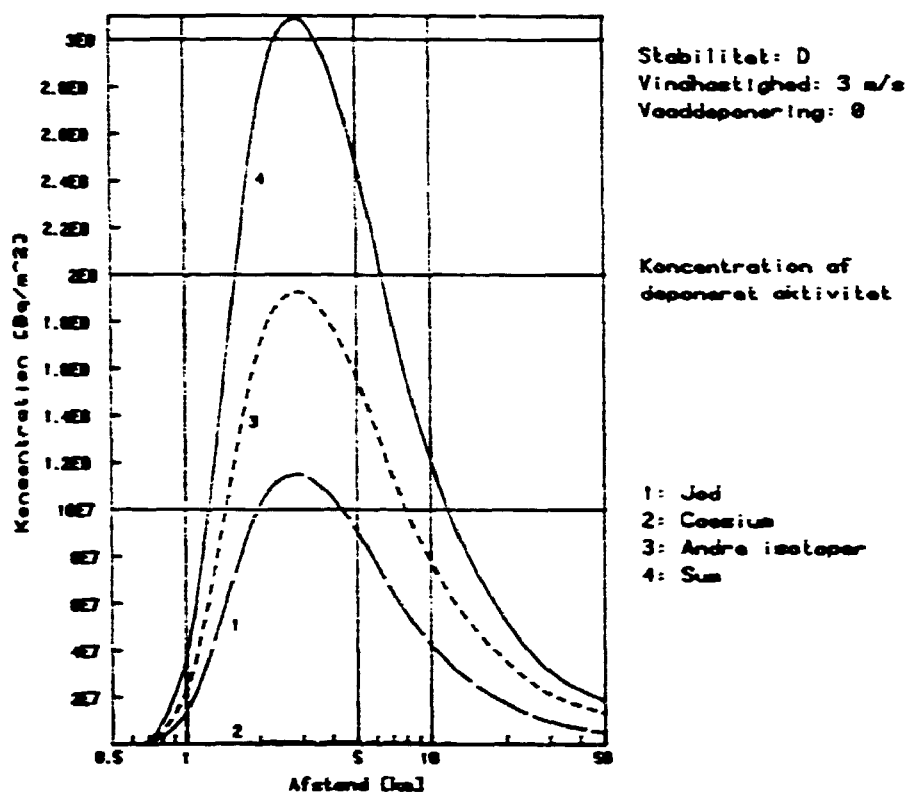
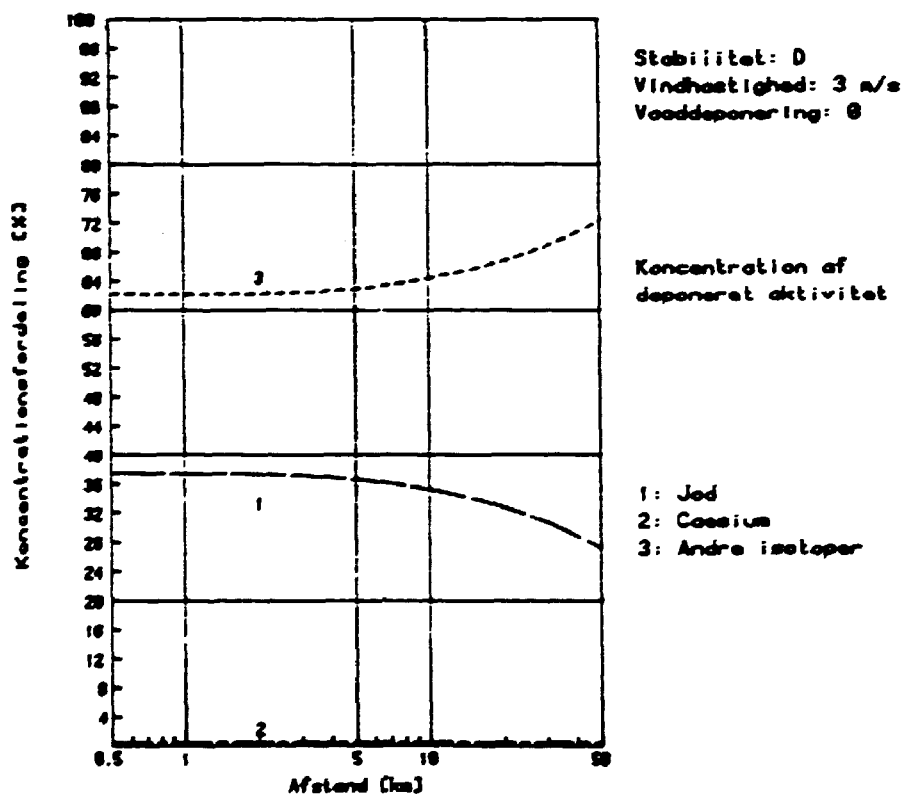


Fig. 5.3B. Isotopgruppefordeling af total helkropsdosis.



**Fig. 5.4A.** Koncentration af deponeret aktivitet opdelt i isotopgrupper efter 24 timer.



**Fig. 5.4B.** Isotopgruppefordeling af koncentration af deponeret aktivitet efter 24 timer.

På fig. 5.5 - 5.8 er vist isodosiskurver for henholdsvis gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsdosisbidraget til helkropsdosis og den totale helkropsdosis. Der er valgt at præsentere isodosiskurverne på et kort med vindretning mod 256 grader, hvor der fås maksimale kollektive doser.

Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel 5.2.

|   | Startafstand<br>fra<br>værket<br>km | Slutafstand<br>fra<br>værket<br>km | Maksimal<br>bredde<br>km | Areal<br>km <sup>2</sup> |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Gammadosis<br/>fra skypassage</b>              |                                     |                                    |                          |                          |
| over 0,003 Sv                                     | 0                                   | 27                                 | 2,5                      | 51                       |
| over 0,005 Sv                                     | 0                                   | 18                                 | 1,8                      | 25                       |
| over 0,01 Sv                                      | 0                                   | 11                                 | 1,1                      | 8,9                      |
| <b>Gammadosis<br/>fra deponeret<br/>aktivitet</b> |                                     |                                    |                          |                          |
| over 0,0001 Sv                                    | 0,89                                | 28                                 | 2,8                      | 58                       |
| over 0,0002 Sv                                    | 0,89                                | 18                                 | 1,8                      | 24                       |
| over 0,0005 Sv                                    | 0,89                                | 9,4                                | 0,92                     | 5,5                      |
| <b>Inhalation<br/>helkrop</b>                     |                                     |                                    |                          |                          |
| over 0,01 Sv                                      | 1,0                                 | 27                                 | 2,4                      | 47                       |
| over 0,02 Sv                                      | 1,2                                 | 15                                 | 1,4                      | 15                       |
| over 0,04 Sv                                      | 1,5                                 | 8,3                                | 0,76                     | 3,9                      |
| <b>Total helkrop</b>                              |                                     |                                    |                          |                          |
| over 0,01 Sv                                      | 0                                   | 35                                 | 2,9                      | 73                       |
| over 0,02 Sv                                      | 0                                   | 19                                 | 1,8                      | 26                       |
| over 0,04 Sv                                      | 0                                   | 11                                 | 1,0                      | 8,0                      |

**Tabel 5.2.** Dimensioner på isodosiskurver ved Pasquill D, vindhastighed 3 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efter nedlukning.



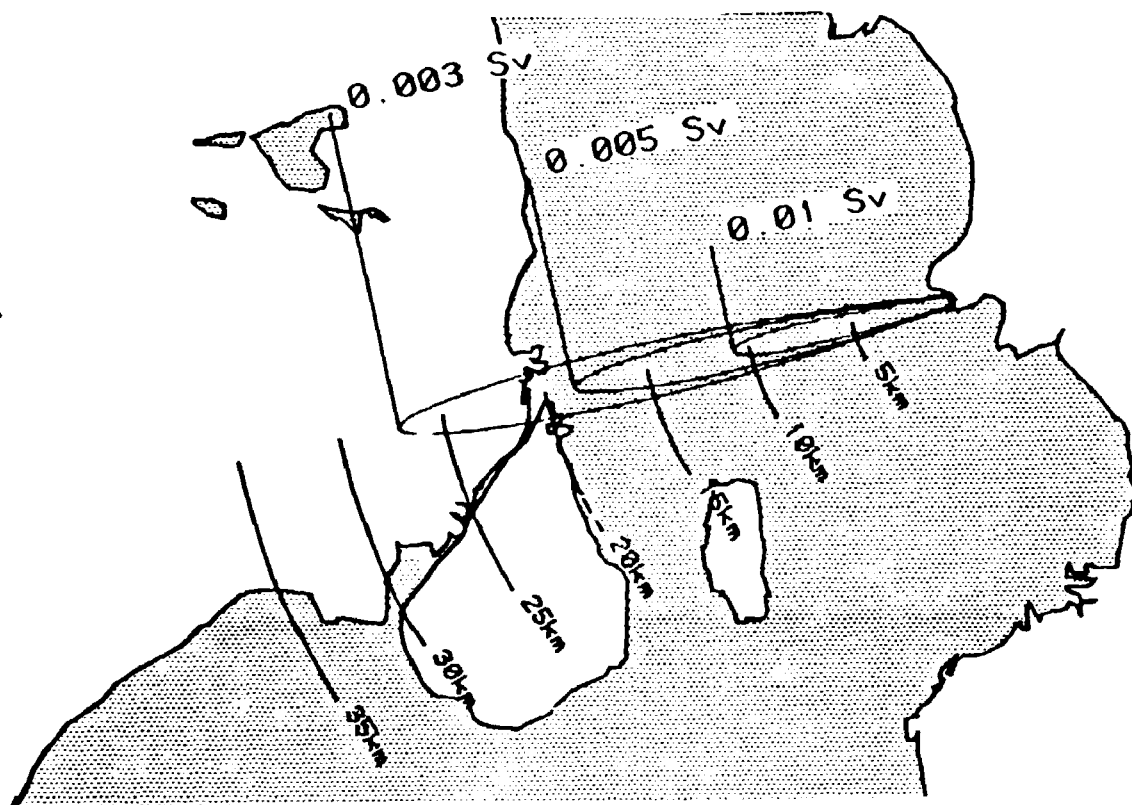


Fig. 5.5. Gammadosis fra skypassage ved indendørs ophold.

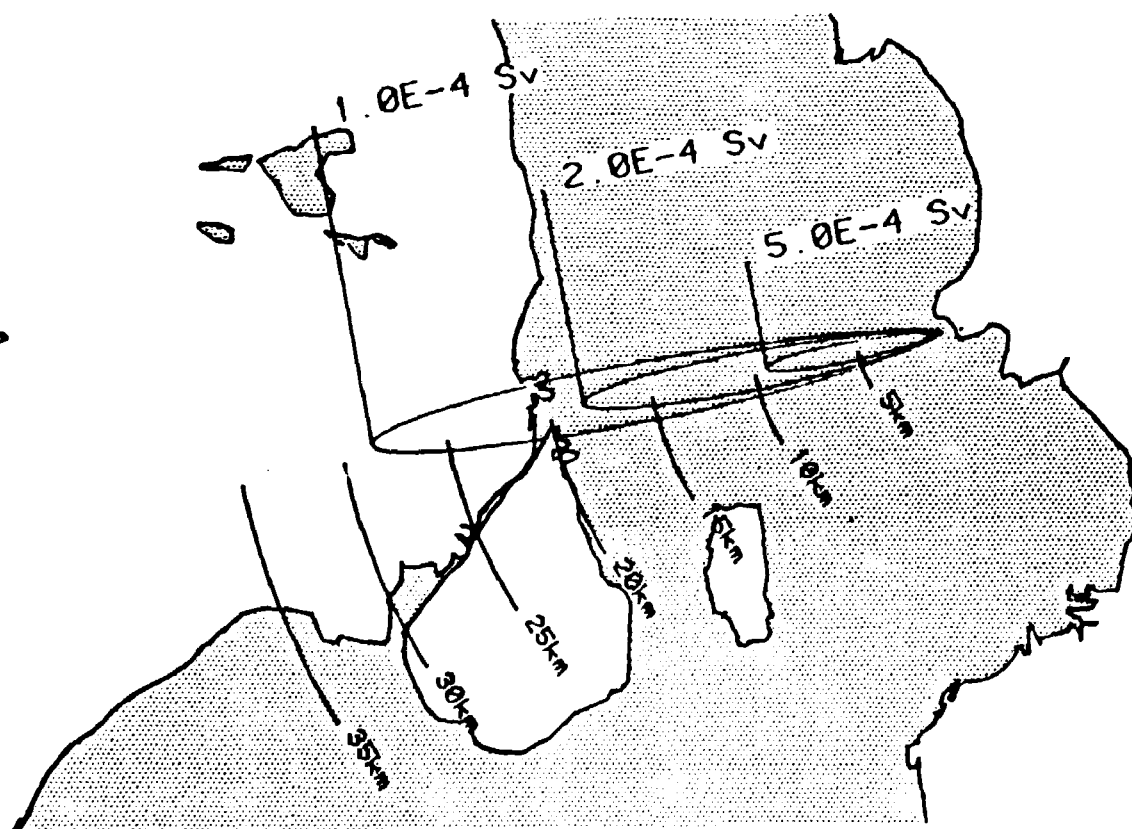
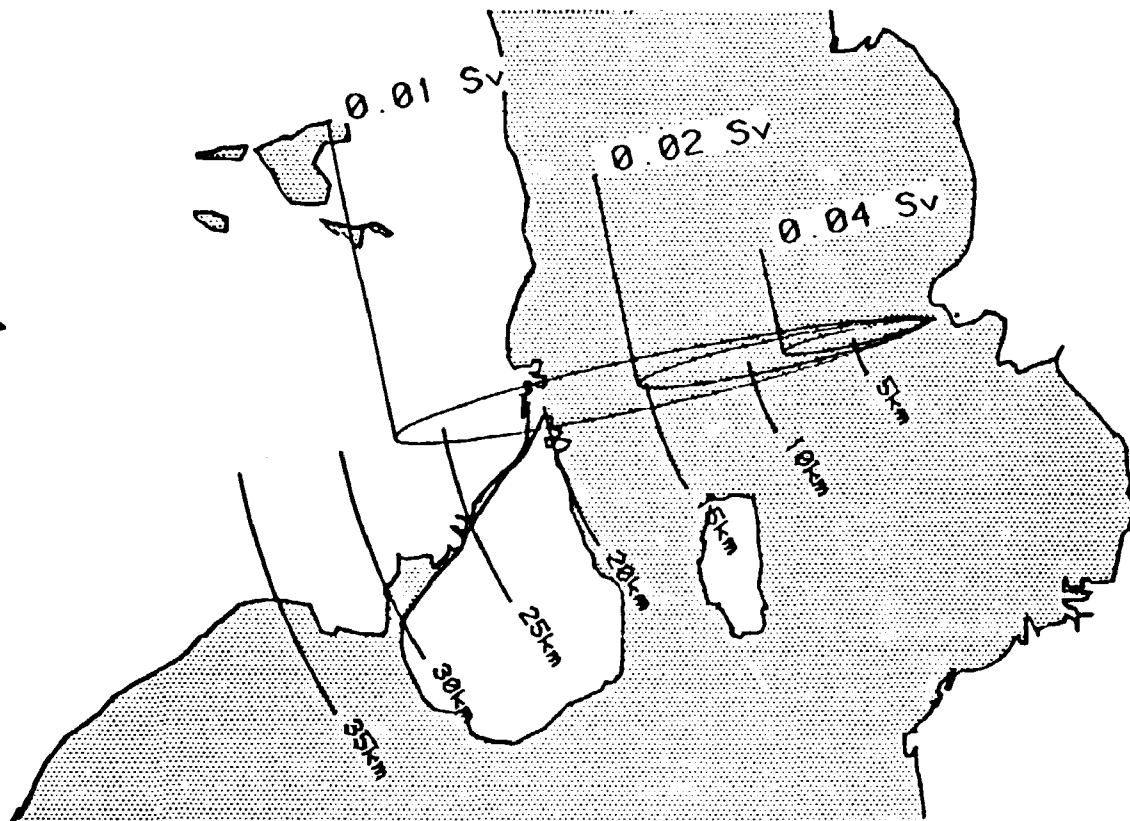
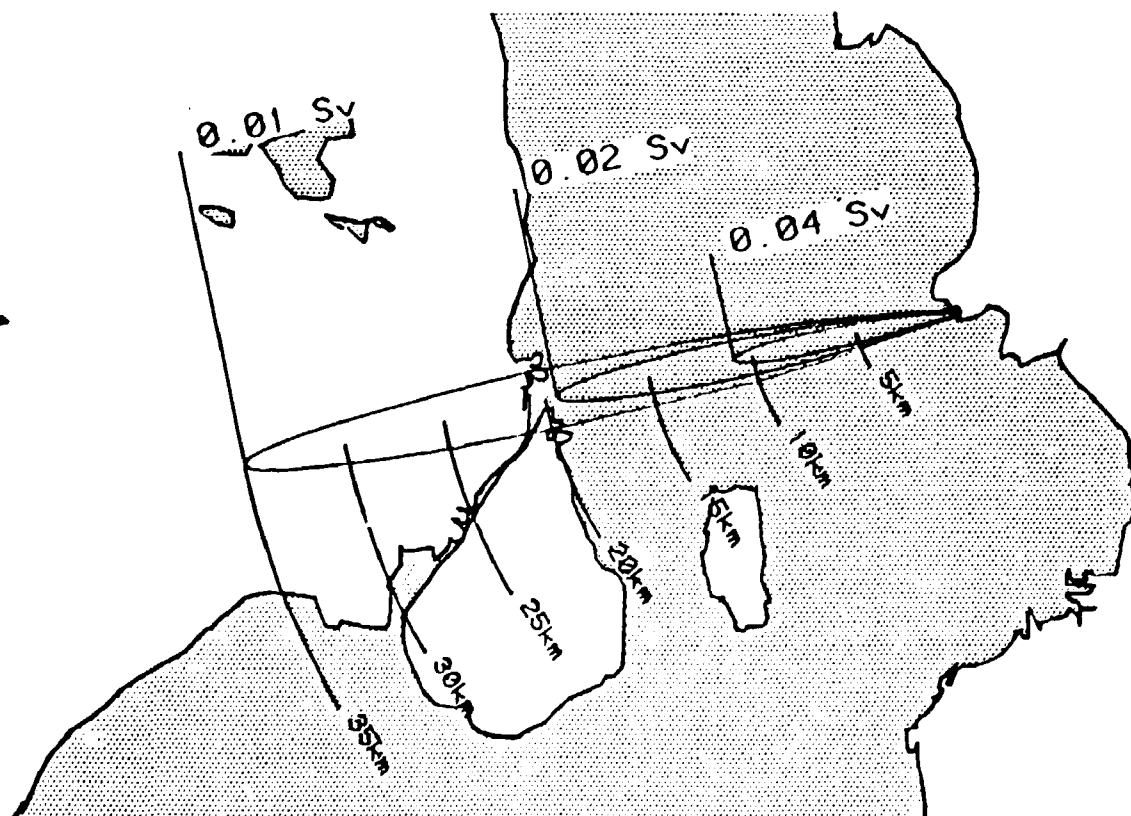


Fig. 5.6. Gammadosis fra deponeret aktivitet ved 24 timers indendørs ophold.



**Fig. 5.7.** Inhalationsdosisbidrag til helkropsdosis med integrationstid på 50 år.



**Fig. 5.8.** Total helkropsdosis med integrationstid på 50 år.

### 5.1.2. Normal færden i 1 år

-----

Den totale helkropsdosis stiger som funktion af tiden det første år efter uheldet. Stigningen skyldes udelukkende gammadosis fra deponeret aktivitet, idet inhalationsdosis og gammadosis fra skypassage ikke vokser, når skypassagen er forbi.

På fig. 5.9 er vist total helkropsdosis, som funktion af tiden det første år efter uheldet. Der er regnet med indendørs ophold de første 24 timer og derefter normal færden.

På fig. 5.10 er de konstante bidrag fra fig. 5.9 fjernet, og kun væksten i gammadosis fra deponeret aktivitet er vist. Gammadosis fra deponeret aktivitet udgør en stadig stigende andel af den totale helkropsdosis jo længere tid, der går efter uheldet.

| Afstand        | 1 km   | 3 km  | 10 km | 50 km  |
|----------------|--------|-------|-------|--------|
| Efter 24 timer | 0,22%  | 1,1%  | 1,0%  | 0,57%  |
| Efter 365 døgn | 11,6 % | 39,7% | 41,5% | 42,1 % |

Tabel 5.3. Gammadosis fra deponeret aktivitets andel af den totale helkropsdosis efter 24 timers indendørs ophold og efter yderligere 1 års normal færden.

I tabel 5.3. er vist andelen af dosis fra deponeret aktivitet efter hhv. 24 timer og et års normal færden på centerlinien i fire forskellige afstande fra uheldsstedet.

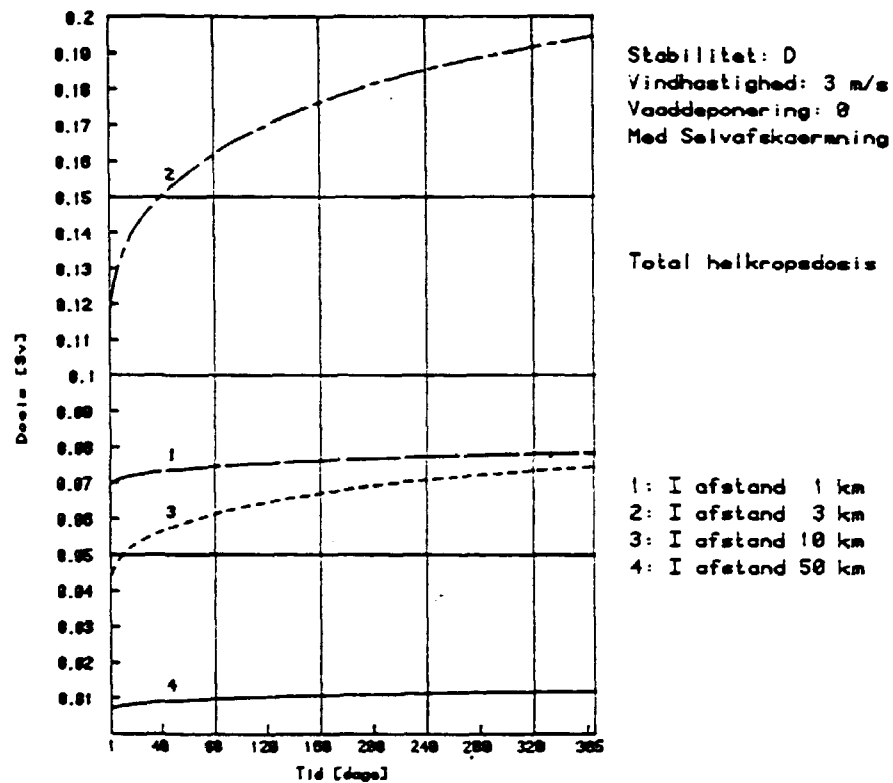


Fig. 5.9. Total helkropsdosis ved normal færden i 1 år og indendørs ophold det første døgn.

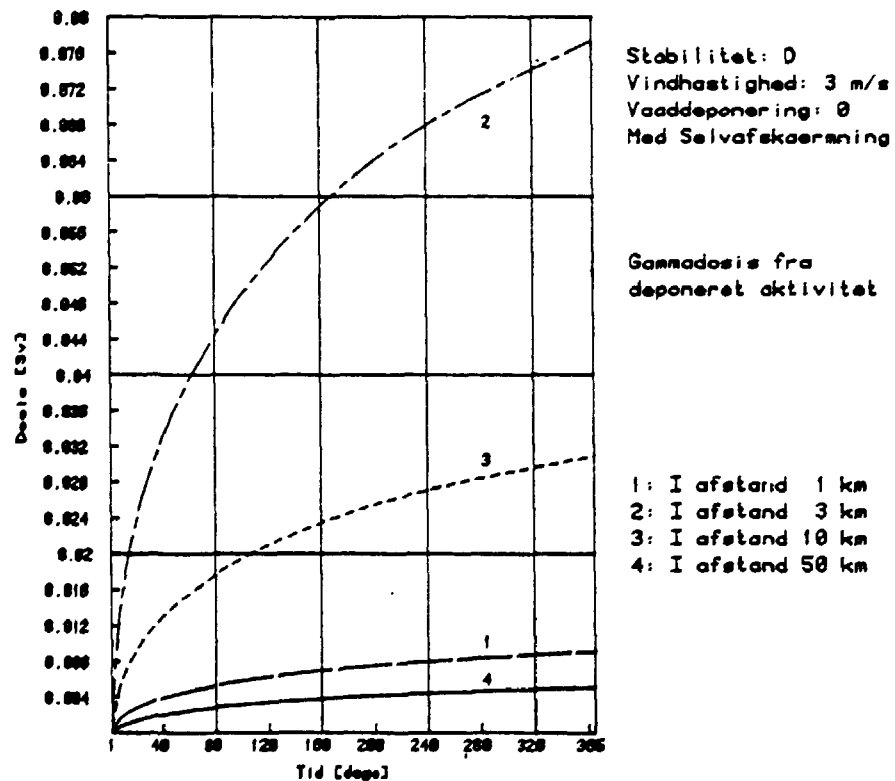


Fig. 5.10. Gammadosis fra deponeret aktivitet i 4 afstande. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færden.

På fig. 5.11A er vist, hvordan koncentrationen af deponeret aktivitet falder som funktion af tiden. På fig. 5.11B er koncentrationen af deponeret aktivitet 3 km fra værket opdelt i isotopgrupper. Det ses, at jod udgør ca. 38% af den deponerede aktivitet de første dage, herefter falder jodprocenten hurtigt, og der er næsten intet tilbage efter 60 dage. Dette forløb genfindes på fig. 5.11A, idet koncentrationen har en halveringstid på ca. 5 dage de første 5 dage, herefter bliver de mere langlivede isotoper dominerende, og halveringstiden stiger langt over jods halveringstid på 8 dage.

På fig. 5.12 er vist gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år som funktion af afstanden fra værket. De 4 slutpunkter fra fig. 5.10 kan genfindes på kurven. De på kurven viste doser gælder for centerlinien i vindretnigen. Doserne falder meget hurtigt med stigende afstand på tværs af centerlinien.

Til illustration af dette er på fig. 5.13 vist isodosiskurver for 3 doser fra fig. 5.12. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel 5.4.

| Gammadosis<br>fra deponeret<br>aktivitet | Start afstand<br>fra værket<br>km | Slutafstand<br>fra værket<br>km | Maksimal<br>bredde<br>km | Areal<br>km <sup>2</sup> |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| over 0,01 Sv                             | 1,0                               | 26                              | 2,3                      | 43                       |
| over 0,02 Sv                             | 1,2                               | 15                              | 1,4                      | 14                       |
| over 0,05 Sv                             | 1,7                               | 6,3                             | 0,54                     | 1,9                      |

**Tabel 5.4.** Dimensioner på isodosiskurver hidrørende fra deponeret aktivitet ved Pasquill D, vindhastighed 3 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normal færd på det pågældende sted.

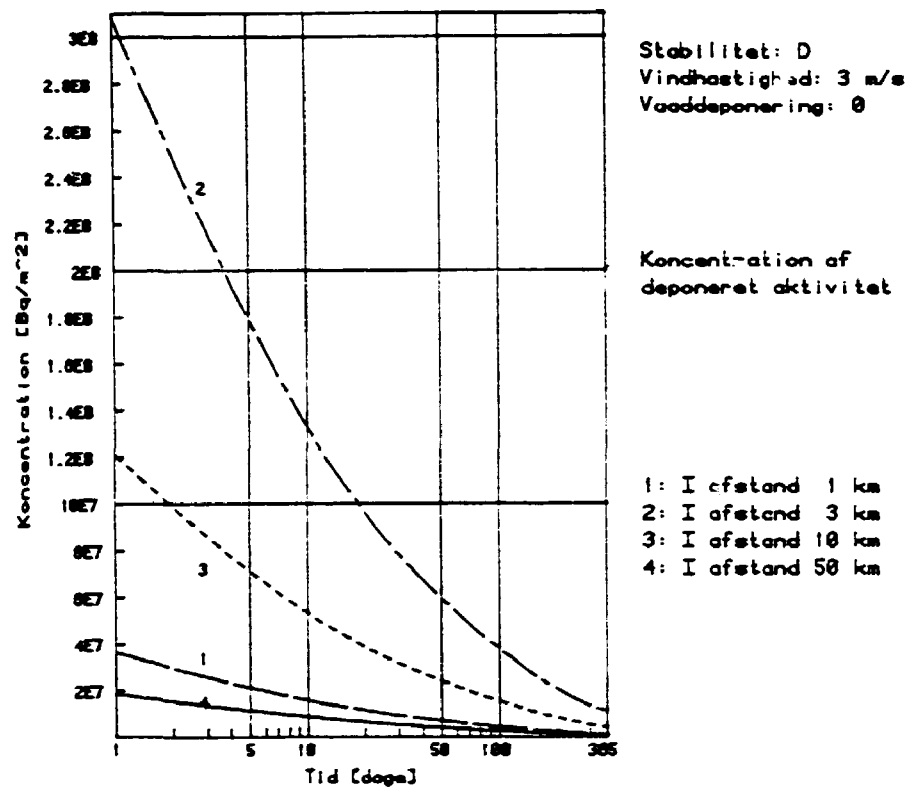


Fig. 5.11A. Koncentration af deponeret aktivitet i 4 afstande.

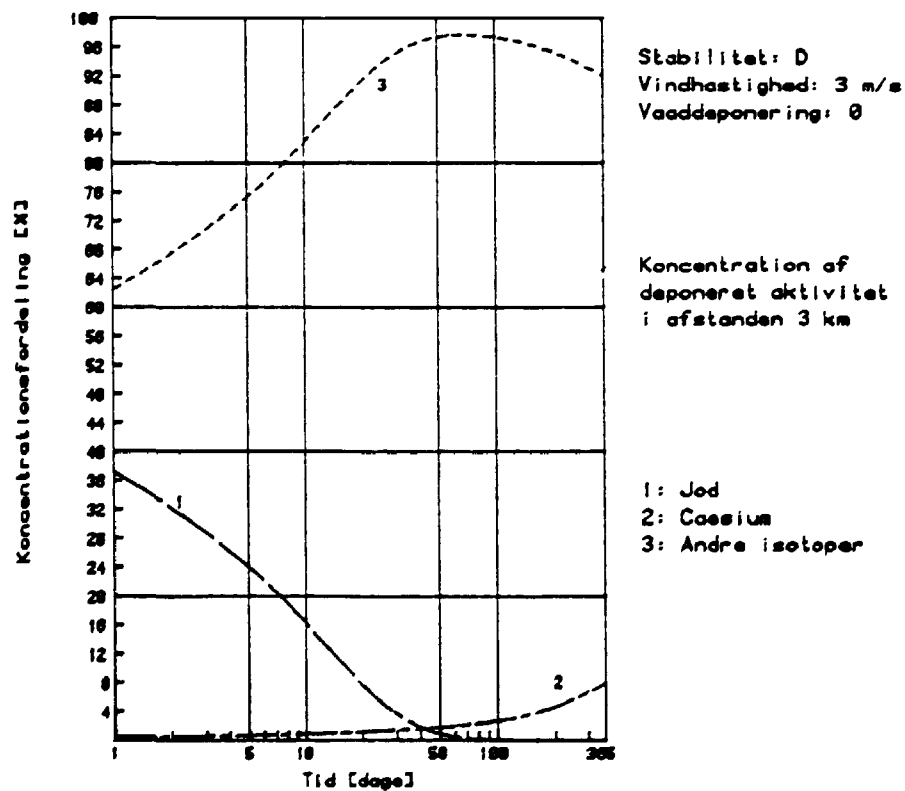
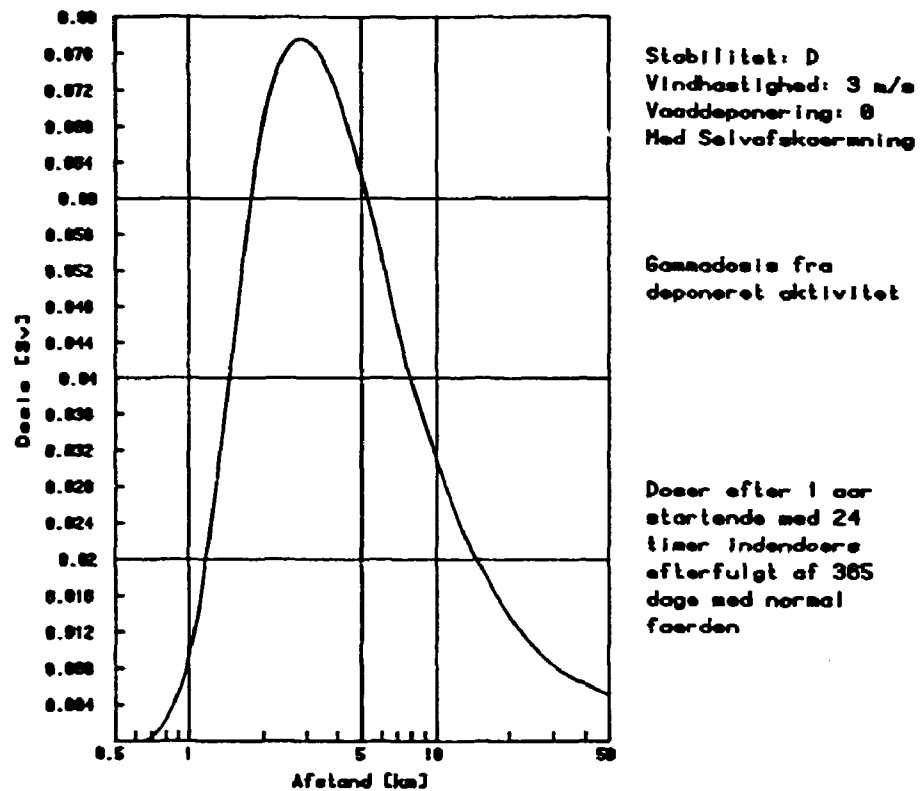
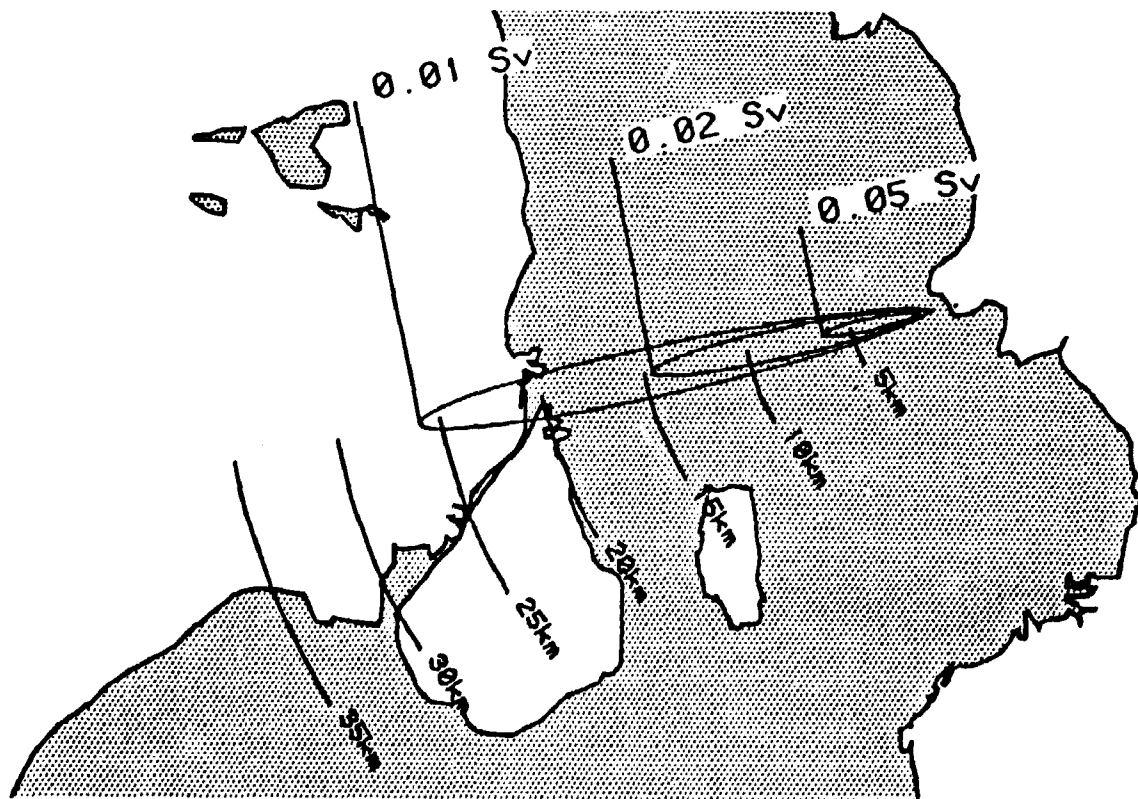


Fig. 5.11B. Isotopgruppefordeling af koncentration af deponeret aktivitet 3 km fra værket.



**Fig. 5.12.** Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færd.



**Fig. 5.13.** Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter det første døgn indendørs regnes med normal færd i 365 dage på det pågældende sted.

## 5.2. Kollektivdoser ved indendørs ophold i 24 timer

På fig. 5.14. og fig. 5.15. er vist befolkningsfordelingen omkring Barsebäck ud til 60 km fra værket opdelt i 12 sektorer på hver 30°. I Danmark er brugt Helsefysikafdelingens befolkningsprognose for 1992. I Sverige er brugt befolkningsfordelingen i 1980 for Malmöhus Län, og udenfor Malmöhus Län er befolkningsfordelingen taget fra Bergqvist, 1980. På fig. 5.14. ses, at København er den største befolkningskoncentration ud til 60 km, og på fig. 5.15. ses, at Malmö er den største befolkningskoncentration ud til 20 km.

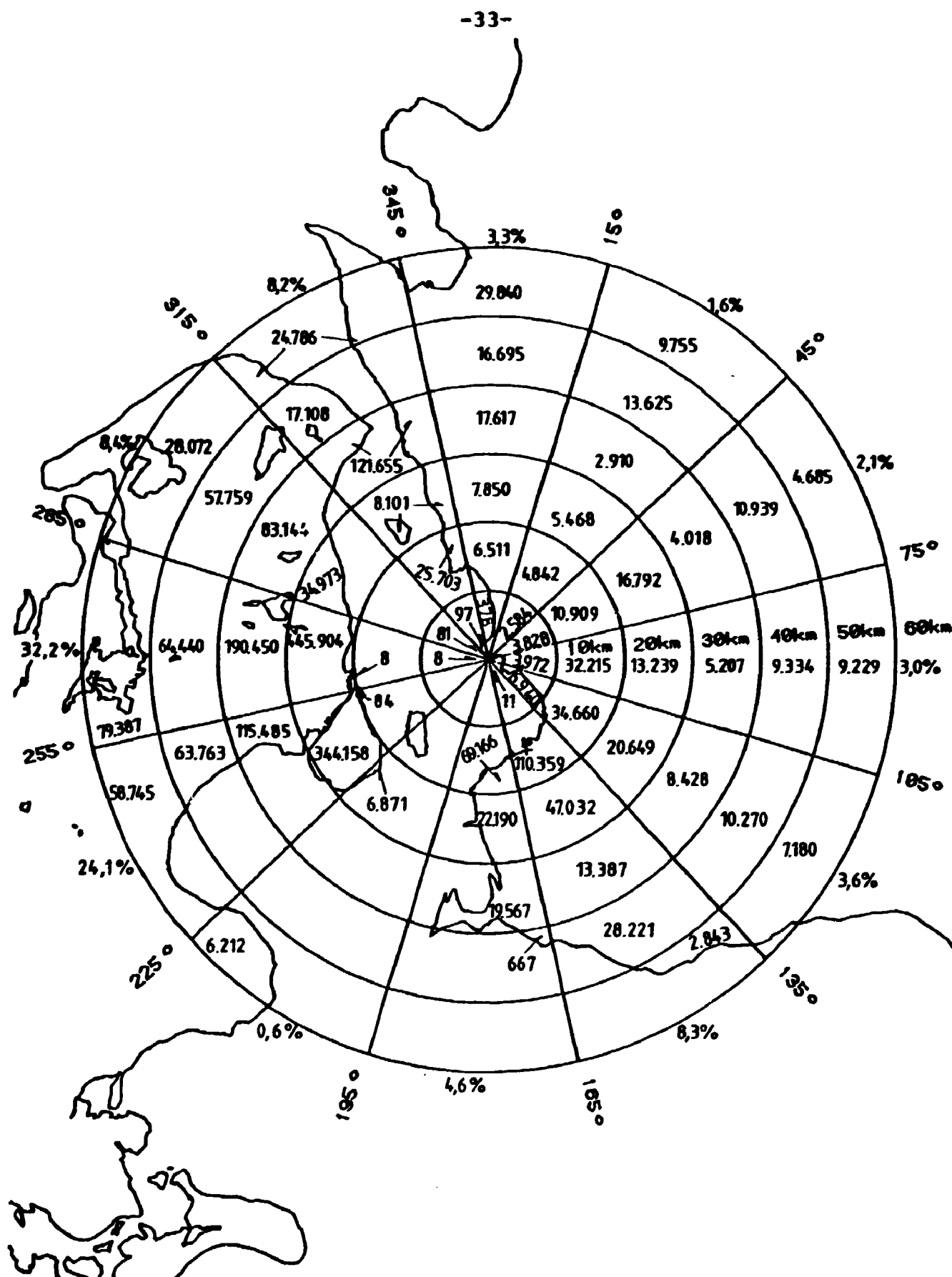
For at finde de maksimale konsekvenser, er kollektivdoserne for 12 forskellige retninger (30°, 60° ...) beregnet. Der tages hensyn til et område på  $\pm 25^\circ$  omkring de valgte udslipsretninger.

På fig. 5.16. er vist de således beregnede kollektive helkropsdoser ved 24 timers indendørs ophold som funktion af retningen. Det ses, at ud til en afstand af 2 km er det udslipsretningen 330 grader, der dominerer med 3 mandSv. Ud til 8 km fra værket er det udslipsretningen 120 grader med 140 mandSv. Ud til 24 km og 62 km er det København, der dominerer imellem retningerne 240 og 270 grader med kollektive doser på op til 5500 mandSv.

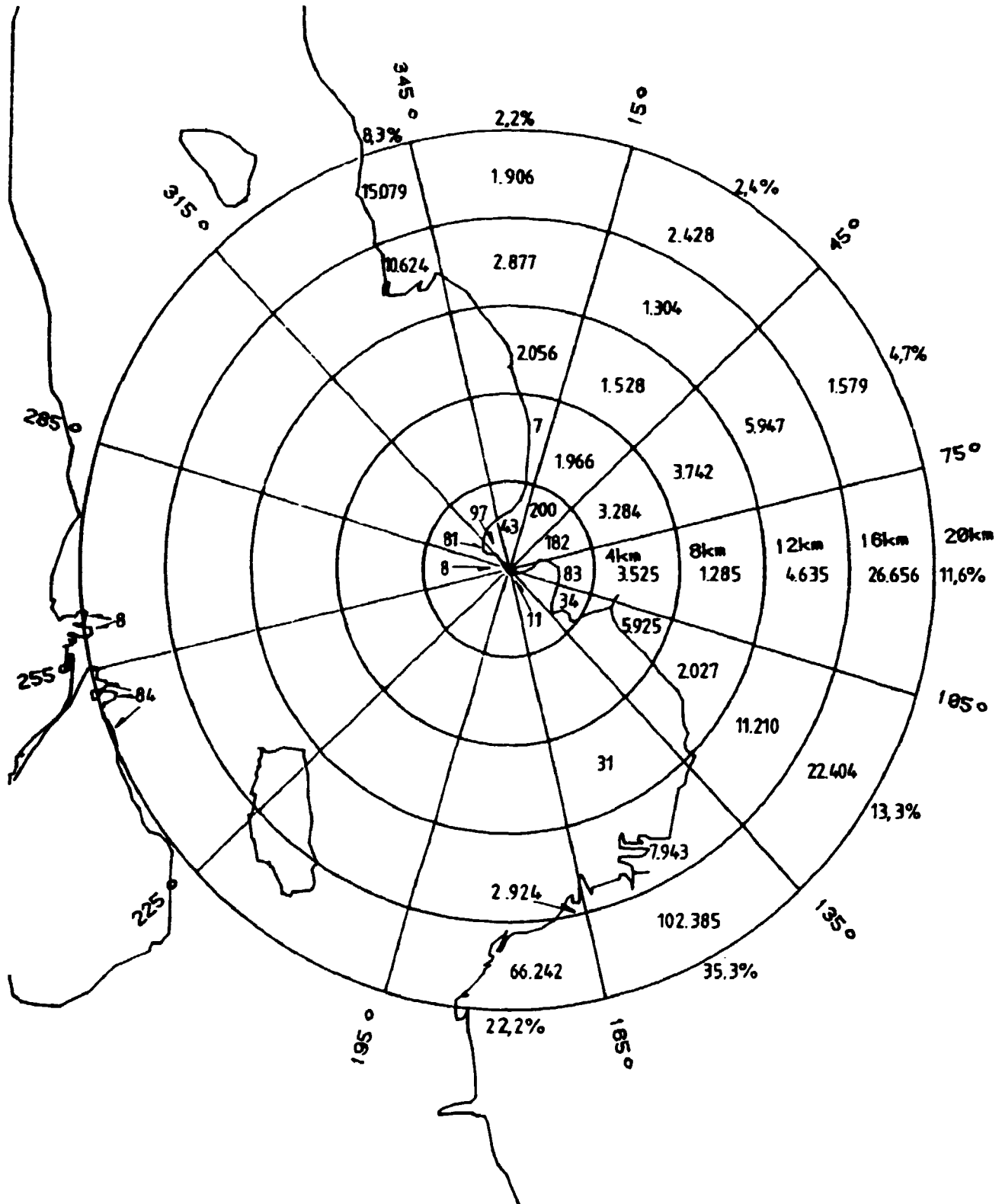
På fig. 5.17. og fig. 5.18. er vist kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 12 udslipsretninger. Det ses, at retning 120 grader giver størst doser fra 7 km til 17 km fra værket. Så kommer Malmö med retning 150 grader imellem 17 og 23 km fra værket. På større afstande end 23 km er København dominerende, først med retning 240 grader imellem 23 og 29 km fra værket og herefter med retning 270 grader.

For mere nøjagtig at finde de maksimale kollektivdoser, er der foretaget udslipsberegninger med 5° spring i intervallet fra 240 grader til 300 grader. På fig. 5.19. er vist de således beregnede kollektive helkropsdoser ved 24 timers indendørs

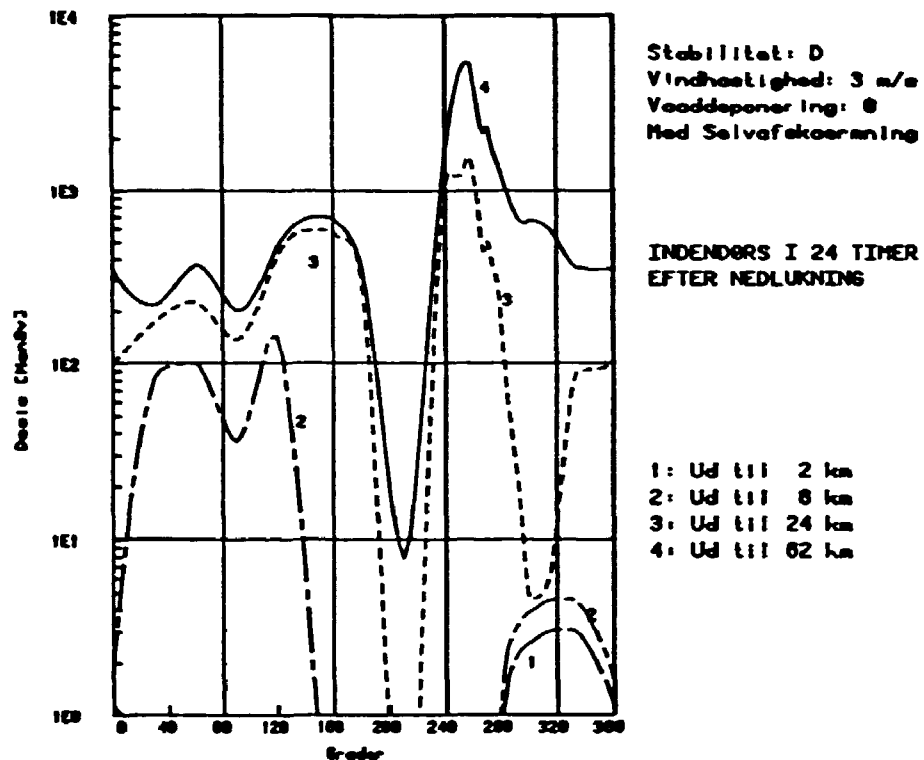




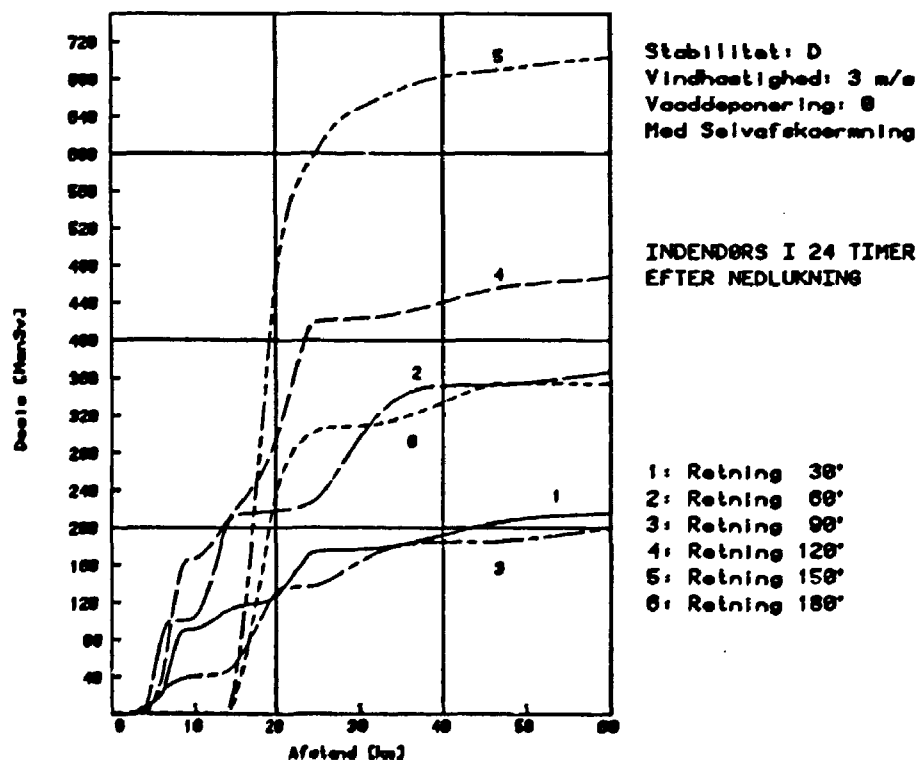
**Fig. 5.14.** Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-60 km fra Barsebäck. I Danmark er brugt Helsefysikafdelingens befolkningsprognose for 1992, i Malmöhus Län er brugt befolkningsfordelingen i 1980 og uden for Malmöhus Län er brugt Bergqvist, 1980. Samlet befolkningstal ud til 60 km er 2.421.006.



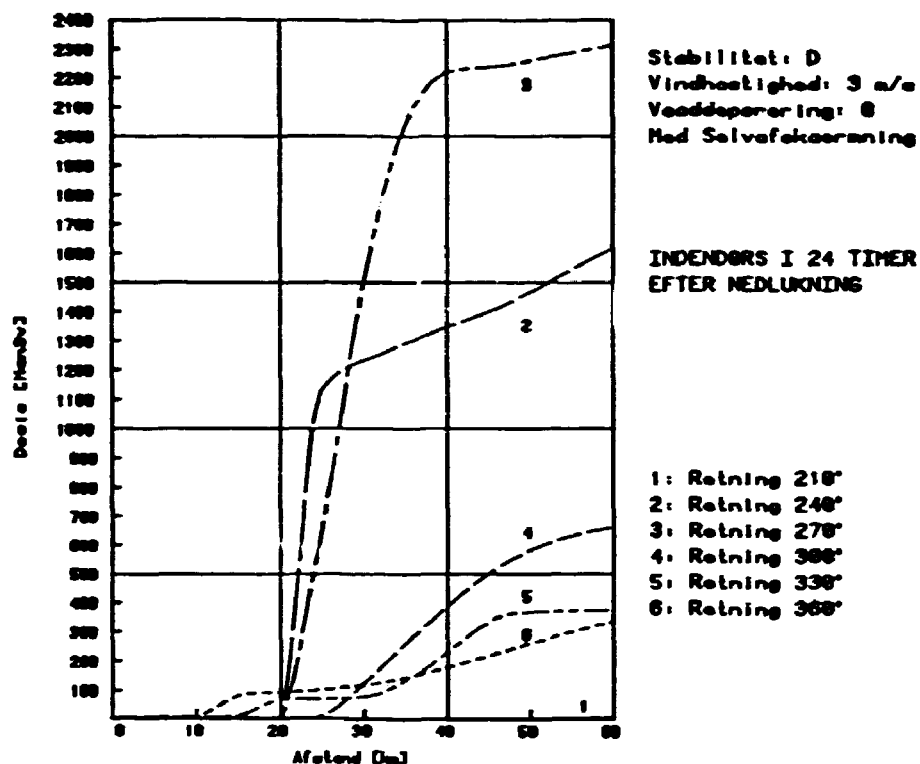
**Fig. 5.15.** Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-20 km fra Barsebäck. I Sverige er brugt befolkningsfordelingen i 1980 og i Danmark er brugt Helsefysikafdelingens befolkningsprognose for 1992. Samlet befolkningstal ud til 20 km er 312.350.



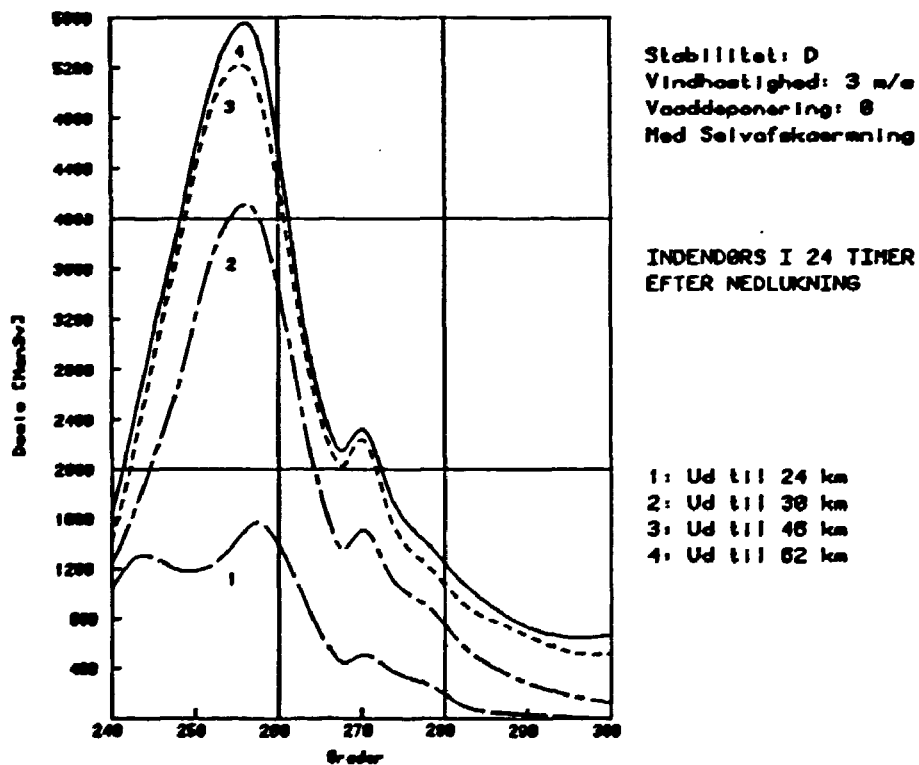
**Fig. 5.16.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i 4 afstande fra værket.



**Fig. 5.17.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 6 udslipsretninger fra 30° til 180°.



**Fig. 5.18.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 6 udslipsretninger fra 210° til 360°.



**Fig. 5.19.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i det 60° interval, hvor kollektivdosis er størst.

ophold. Det ses her, at den maksimale kollektive dosis findes i retning 256 grader og bliver 5500 mandSv.

Regner man konservativt med 1 dødsfald pr. 100 mandSv, betyder dette 55 ekstra dødsfald af cancer i løbet af de næste 30 år. I en sådan befolkning på ca. 1.600.000 vil der i løbet af 30 år være ca. 170.000 cancerdødsfald, idet ca. 1/4 dør af cancer, og der regnes med en gennemsnitslevealder på 70 år. Et 0,1% udslip i denne retning med den største befolkningskoncentration vil således forøge den naturlige cancerhyppighed med mindre end 1/3 promille.

Den naturlige baggrundsstråling til den pågældende befolkning vil på 30 år være ca. 9 gange så stor (48.000 mandSv). Der er her kun regnet med kosmisk stråling, intern stråling og stråling fra undergrunden, som giver ca. 1 mSv/år pr. person. Hertil kommer bidrag fra medicinsk bestråling og radon fra boliger.

## 6. REFERENCER

- ALDRICH, D.C., m.fl., 1978, "Public protection strategies for potential nuclear reactor accidents: Sheltering concepts with existing public and private structures", SAND 77-1725.
- BERGQVIST, G. och FINCK, R., 1980, "Befolkningens geografiska fördelning kring svenska kärnkraftverk". FOA rapport C 40122-A3.
- CEDERVALL, B., 1985, "Dosomvandlingsfaktorer för beräkning av omgivningskonsekvenser vid missöde eller haveri vid kärnkraftverk". Vattenfall KS-60/84. Rev 1.
- GALE, H.J., m.fl., 1963, "The weathering of caesium 137 in soil", AERE-R-4241.
- HEDEMANN JENSEN, P., 1980, "Inhalationsdosisfaktorer til beregning af committed effektivt dosis ækvivalent fra indåndet aktivitet".
- HEDEMANN JENSEN, P., 1984, "Calculated Shielding Factors for Selected European Houses", Risø-M-2474.
- HEINEMANN, K. and VOGT, K.J., 1980, "Measurements of the Deposition of Iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine on vegetation", Health Physics 39, 463-502.
- ICRP 79. "Limits for the Intake of Radionuclides by Workers". ICRP publication 30, part 1, 1979.
- LAURIDSEN, B. and HEDEMANN JENSEN, P., 1981, "Shielding Factors for Vehicles to Gamma Radiation from Activity Deposited on Ground Surfaces", Risø-M-2339.
- MILJØSTYRELSEN, 1984, "Rapport om nedsættelsesfaktorer fra doser ved ophold inden døre".

NRC, 1975, "Reactor Safety Study. An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants", WASH-1400 (NUREG 75/014).

NRPB, 1978, "Annual Limits of Intake of Radionuclides for Workers", NRPB-R82.

O'BRIEN, K. and SANNA, R., 1976, "The distribution of absorbed dose-rates in humans from exposure to environmental gamma rays". Health Physics 30, 71-78.

ROED, J., 1981, "Undersøgelse af overfladedeposering med henblik på beregning af deponeringen af luftbåret materiale frigjort ved kernenedsmeltning i kraftreaktorer", Risø-M-2274.

SEHMEL, G.A., 1980, "Model predictions and a summary of dry deposition velocity data", accepteret til Atmospheric environment i 1981.

STATENS STRÅLSKYDDSinSTITUT, 1979, "Effektive Beredskab. Konsekvensbeskrivninger". Vol. 5.

THYKIER-NIELSEN, S., 1980, "The Risø model for calculating the consequences of the release of radioactive material to the atmosphere", Risø-M-2214.

Bilag A: Dosisonregningsfaktorer

| Isotop  | Knoglemarv<br>Sv/Bq | Lunger<br>Sv/Bq | Skjoldbruskk.<br>Sv/Bq | Helkrop<br>Sv/Bq |
|---------|---------------------|-----------------|------------------------|------------------|
| Os 58 V | 3,46E-10            | 1,57E-8         | 2,78E-10               | 1,90E-9          |
| Os 60 V | 9,14E-10            | 1,17E-7         | 6,88E-10               | 4,10E-8          |
| Kr 85mW | 1,05E-13            | 5,68E-14        | 5,41E-14               | 2,11E-14         |
| Kr 85 W | 1,65E-13            | 4,86E-14        | 4,86E-14               | 2,70E-14         |
| Kr 87 W | 3,51E-13            | 2,59E-13        | 2,62E-13               | 8,11E-14         |
| Kr 88 W | 8,38E-13            | 5,41E-13        | 5,41E-13               | 1,81E-13         |
| Rb 88 V | 1,44E-12            | 1,03E-10        | 3,00E-12               | 2,20E-11         |
| Rb 89 V | 3,10E-12            | 5,47E-11        | 3,62E-12               | 1,00E-11         |
| Sr 89 V | 1,27E-11            | 7,09E-8         | 6,40E-12               | 1,00E-8          |
| Sr 90 V | 3,06E-11            | 7,00E-7         | 8,66E-12               | 3,40E-7          |
| Sr 91 V | 2,92E-11            | 2,29E-9         | 4,76E-11               | 4,00E-10         |
| Y 90 V  | 1,61E-11            | 9,31E-9         | 1,36E-12               | 2,20E-9          |
| Y 91 V  | 7,06E-11            | 9,50E-8         | 2,48E-12               | 1,20E-8          |
| Zr 95 V | 3,19E-10            | 4,35E-8         | 2,12E-10               | 4,90E-9          |
| Zr 97 W | 5,14E-11            | 4,05E-9         | 2,32E-11               | 7,03E-10         |
| Nb 95 V | 2,51E-10            | 9,20E-9         | 2,06E-10               | 1,20E-9          |
| Mo 99 V | 6,70E-11            | 4,32E-9         | 5,52E-11               | 9,90E-10         |
| Tc 99mV | 4,43E-12            | 3,13E-11        | 3,98E-12               | 5,70E-12         |
| Ru103 V | 2,15E-10            | 1,61E-8         | 1,67E-10               | 2,10E-9          |
| Ru105 V | 8,34E-12            | 4,69E-10        | 1,18E-11               | 1,10E-10         |
| Ru106 V | 1,36E-10            | 5,24E-7         | 1,04E-10               | 1,20E-7          |
| Rh105 V | 1,69E-11            | 1,00E-9         | 1,33E-11               | 2,30E-10         |
| Sb127 V | 1,89E-10            | 7,91E-9         | 1,95E-10               | 1,50E-9          |
| Sb129 V | 1,87E-11            | 7,88E-10        | 2,86E-11               | 1,60E-10         |
| Te127mV | 2,84E-11            | 3,59E-8         | 6,94E-12               | 5,30E-9          |
| Te127 V | 7,39E-12            | 4,47E-10        | 6,46E-12               | 7,80E-11         |
| Te129mV | 8,87E-10            | 2,63E-8         | 1,35E-10               | 5,50E-9          |
| Te129 V | 1,86E-13            | 1,28E-10        | 2,04E-13               | 1,80E-11         |
| Te131mV | 2,14E-10            | 2,17E-9         | 2,22E-10               | 1,50E-9          |
| Te131 V | 1,41E-12            | 6,78E-11        | 1,26E-12               | 1,20E-10         |
| Te132 V | 4,10E-10            | 2,50E-9         | 2,94E-10               | 2,10E-9          |
| I 131 V | 7,77E-11            | 6,76E-10        | 1,49E-7                | 8,80E-9          |
| I 132 V | 2,12E-11            | 2,86E-10        | 3,58E-9                | 9,10E-11         |
| I 133 V | 3,75E-11            | 8,27E-10        | 9,70E-8                | 1,50E-9          |
| I 134 V | 9,04E-12            | 1,54E-10        | 6,06E-10               | 3,00E-11         |
| I 135 V | 4,91E-11            | 5,28E-10        | 1,88E-8                | 3,00E-10         |
| Xe133 W | 4,32E-13            | 1,11E-13        | 1,08E-13               | 6,76E-14         |
| Xe135 W | 5,68E-13            | 2,54E-13        | 2,46E-13               | 1,05E-13         |
| Cs134 V | 4,53E-9             | 1,81E-8         | 2,36E-9                | 1,30E-8          |
| Cs136 V | 3,00E-9             | 3,61E-9         | 2,34E-9                | 2,00E-9          |
| Cs137 V | 3,74E-9             | 1,48E-8         | 2,08E-9                | 8,70E-9          |
| Cs138 V | 8,08E-12            | 1,51E-10        | 1,32E-11               | 2,40E-11         |
| Ba140 V | 8,79E-10            | 1,22E-9         | 2,82E-10               | 9,70E-10         |
| La140 V | 2,26E-10            | 3,56E-9         | 3,02E-10               | 1,20E-9          |
| Ce141 V | 2,21E-10            | 1,65E-8         | 2,42E-11               | 2,30E-9          |
| Ce143 W | 2,70E-11            | 3,51E-9         | 6,49E-12               | 4,25E-10         |
| Ce144 W | 9,46E-11            | 5,68E-7         | 3,51E-12               | 6,76E-8          |
| Pr143 W | 7,03E-12            | 1,32E-8         | 7,84E-14               | 1,59E-9          |
| Nd147 W | 4,59E-11            | 1,00E-8         | 7,57E-12               | 1,21E-9          |
| Np239 V | 1,07E-10            | 1,29E-9         | 2,30E-11               | 5,70E-10         |
| Pu239 W | 7,03E-11            | 3,24E-5         | 1,57E-11               | 3,78E-6          |

Tabel Al. De i beregningerne brugte dosisonregningsfaktorer for inhalationsdosis. De benyttede integrationstider er for knoglemarv 30 dage, for lunger 1 år, for skjoldbruskkirtel 1 uge og for hele kroppen 50 år. For de med V mærkede isotoper er faktorerne opgivet af Vattenfall, medens der for de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, Tabel D-2.



| Energigruppe        | Knoglemarv | Lunger | Skjoldbruskk. | Helkrop. |
|---------------------|------------|--------|---------------|----------|
| under 0,08 MeV      | 0,4700     | 0,4500 | 0,5300        | 0,4500   |
| 0,08 MeV - 0,15 MeV | 0,5100     | 0,5400 | 0,5717        | 0,5400   |
| 0,15 MeV - 0,25 MeV | 0,4500     | 0,4600 | 0,5756        | 0,4900   |
| 0,25 MeV - 0,51 MeV | 0,4800     | 0,4900 | 0,5691        | 0,5200   |
| 0,51 MeV - 0,85 MeV | 0,5000     | 0,5100 | 0,6400        | 0,5400   |
| 0,85 MeV - 1,33 MeV | 0,5271     | 0,5311 | 0,7373        | 0,5644   |
| 1,33 MeV - 2,03 MeV | 0,5600     | 0,6100 | 0,6400        | 0,6200   |
| over 2,03 MeV       | 0,6000     | 0,6200 | 0,6900        | 0,6400   |

**Tabel A2.** Selvfaskærmningsfaktorer brugt ved beregning af gamma-doser fra skypassage og deponeret aktivitet til henholdsvis knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel og helkrop. (Fra O'Brien, 1976).

| Isotop | Dosisomregningsfaktorer (Sv/h)/(Bq/m <sup>2</sup> ) |          |               |          |
|--------|---|----------|---------------|----------|
|        | Knoglenarv  | Lunger   | Skjoldbruskk. | Helkrop. |
| Co 58  | 2,32E-12  | 2,37E-12 | 2,97E-12      | 2,51E-12 |
| Co 60  | 6,95E-12  | 7,34E-12 | 8,65E-12      | 7,59E-12 |
| Rb 88  | 1,55E-12  | 1,65E-12 | 1,88E-12      | 1,70E-12 |
| Rb 89  | 5,27E-12  | 5,38E-12 | 6,88E-12      | 5,65E-12 |
| Sr 89  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Sr 90  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Sr 91  | 2,82E-12  | 2,87E-12 | 3,73E-12      | 3,04E-12 |
| Y 90   | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Y 91   | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Zr 95  | 1,76E-12  | 1,79E-12 | 2,25E-12      | 1,90E-12 |
| Zr 97  | 2,09E-12  | 2,14E-12 | 2,66E-12      | 2,26E-12 |
| Nb 95  | 1,76E-12  | 1,80E-12 | 2,26E-12      | 1,90E-12 |
| Nb 97  | 1,76E-12  | 1,79E-12 | 2,25E-12      | 1,90E-12 |
| Mo 99  | 3,54E-13  | 3,62E-13 | 4,49E-13      | 3,82E-13 |
| Tc 99m | 4,87E-13  | 4,95E-13 | 5,47E-13      | 4,95E-13 |
| Ru103  | 1,04E-12  | 1,06E-12 | 1,24E-12      | 1,13E-12 |
| Ru105  | 2,01E-12  | 2,05E-12 | 2,54E-12      | 2,17E-12 |
| Ru106  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Rh105  | 2,50E-13  | 2,56E-13 | 2,97E-13      | 2,71E-13 |
| Rh106  | 7,66E-12  | 7,89E-12 | 9,76E-12      | 8,29E-12 |
| Sb127  | 1,73E-12  | 1,76E-12 | 2,17E-12      | 1,87E-12 |
| Sb129  | 3,46E-12  | 3,54E-12 | 4,51E-12      | 3,74E-12 |
| Te127m | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Te127  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Te129m | 6,98E-14  | 7,12E-14 | 8,92E-14      | 7,54E-14 |
| Te129  | 1,53E-13  | 1,54E-13 | 1,84E-13      | 1,62E-13 |
| Te131m | 3,50E-12  | 3,57E-12 | 4,61E-12      | 3,78E-12 |
| Te131  | 1,01E-12  | 1,03E-12 | 1,27E-12      | 1,08E-12 |
| Te132  | 4,76E-13  | 4,85E-13 | 6,03E-13      | 5,14E-13 |
| I 131  | 1,07E-12  | 1,09E-12 | 1,28E-12      | 1,16E-12 |
| I 132  | 5,83E-12  | 5,98E-12 | 7,48E-12      | 6,31E-12 |
| I 133  | 1,91E-12  | 1,94E-12 | 2,47E-12      | 2,06E-12 |
| I 134  | 6,78E-12  | 6,94E-12 | 8,92E-12      | 7,32E-12 |
| I 135  | 3,85E-12  | 4,00E-12 | 4,92E-12      | 4,17E-12 |
| Cs134  | 4,02E-12  | 4,11E-12 | 5,14E-12      | 4,34E-12 |
| Cs136  | 5,33E-12  | 5,40E-12 | 7,08E-12      | 5,73E-12 |
| Cs137  | 1,50E-12  | 1,53E-12 | 1,92E-12      | 1,62E-12 |
| Cs138  | 6,51E-12  | 6,88E-12 | 7,76E-12      | 7,09E-12 |
| Ba140  | 5,89E-13  | 5,99E-13 | 7,40E-13      | 6,33E-13 |
| La140  | 5,90E-12  | 6,30E-12 | 6,96E-12      | 6,48E-12 |
| Ce141  | 1,56E-13  | 1,65E-13 | 1,74E-13      | 1,65E-13 |
| Ce143  | 7,48E-13  | 7,61E-13 | 9,12E-13      | 8,06E-13 |
| Ce144  | 4,20E-14  | 4,40E-14 | 4,71E-14      | 4,40E-14 |
| Pr143  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Pr144  | 8,69E-14  | 9,01E-14 | 1,03E-13      | 9,36E-14 |
| Nd147  | 3,94E-13  | 4,06E-13 | 4,85E-13      | 4,24E-13 |
| Pm147  | 0   | 0        | 0             | 0        |
| Np239  | 3,56E-13  | 3,64E-13 | 4,22E-13      | 3,81E-13 |
| Pu239  | 0   | 0        | 0             | 0        |

**Tabel A3.** De i beregningerne brugte dosisomregningsfaktorer for deponeret aktivitet. For at beregne gammadosis fra deponeret aktivitet skal koncentrationen af deponeret aktivitet integreres over det betragtede tidsrum, ganges med ovenstående faktorer, med afskærmningsfaktorer for indendørs eller normalt ophold og med en faktor 0,7 for jordafskærmning (ruhed).

|   |  |
|---|--|
| <b>Title and author(s)</b><br><br><b>Method for Consequence Calculations for Severe Accidents.</b><br><b>0.1% release from Barsebäck (In accordance with SSI).</b><br><b>(in Danish)</b><br><br><b>Flemming Nielsen</b>   | <b>Date</b> January 1987                         |
|   | <b>Department or group</b><br><br>Health Physics |
|   | <b>Groups own registration number(s)</b><br><br> |
|   | <b>Project/contract no.</b><br><br>BIT-550540    |
| <b>Pages</b> 42 <b>Tables</b> 10 <b>Illustrations</b> 22 <b>References</b> 17   | <b>ISBN</b> 87-550-1291-4                        |
| <b>Abstract (Max. 2000 char.)</b><br><p>With the exception of the part about collective doses, this report was commissioned by the Swedish State Power Board. The part about collective doses was commissioned by the Swedish National Institute of Radiation Protection.</p> <p>The report contains a calculation of radiation doses in the surroundings caused by a theoretical core meltdown accident at one of the Barsebäck reactors with filtered venting through the FILTRA plant. The calculations were made by means of the PLUCON4 code.</p> <p>The assumption used for the calculations were given by the Swedish National Institute of Radiation Protection as follows: Pasquill D with wind speed 3 m/s and a mixing layer at 300 m height. Elevation of the release: 100 m with no energy release. The release starts 12 hours after shut-down and its duration is one hour. The release contains 100% of the noble gasses and 0.1% of all other isotopes in a 1800 MW<sub>t</sub>-reactor.</p> |  |
| <b>Descriptors - INIS</b><br><br>BARSEBAECK-1 REACTOR; BARSEBAECK-2 REACTOR; CESIUM ISOTOPES; COMPUTER CALCULATIONS; DEPOSITION; FISSION PRODUCT RELEASE; GAMMA RADIATION; HUMAN POPULATIONS; INHALATION; IODINE ISOTOPES; MAN; MELTDOWN; METEOROLOGY; NUCLEAR POWER PLANTS; ORGANS; P CODES; RADIATION DOSES; RADIOACTIVE CLOUDS; RARE GASES; WHOLE-BODY IRRADIATION   |  |
| Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory, (Risø Bibliotek, Forskningscenter Risø), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.<br>Telephone 02 37 12 12, ext. 2282. Telex: 43116, Telefax: 02 36 06 09  |  |